CIÊNCIAS RURAIS

NO SÉCULO XXI

EZEQUIEL REDIN

(ORGANIZADOR)

Editora Poisson

VOLUME 2

Ezequiel Redin
(Organizador)

Ciências Rurais no Século XXI
Volume 2

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2024

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial
Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
MSc. Davilson Eduardo Andrade
Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas
MSc. Fabiane dos Santos
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy
MSc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C569

Ciências Rurais no Século XXI - Volume 2
Organização: Ezequiel Redin - Belo Horizonte - MG: Editora Poisson, 2024

Formato: PDF
ISBN: 978-65-5866-438-3
DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3

Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

1. Agricultura 2. Meio Ambiente 3. Zootecnia 4. Ciências Agrárias I. REDIN, Ezequiel II. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896

O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.
Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterado.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

Esse e outros títulos podem ser baixados gratuitamente em www.poisson.com.br
Entre em contato pelo contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Adjuvantes na melhoria da eficiência de fungicidas no controle de doenças 06

Francisco Italo Ferreira Fernandes, Marciel José Peixoto, Leidy Ximena Figueroa Cossiol, Carlos Gabriel Xavier Dourado, Guilherme Mosena de Souza, Edson Trindade da Silva Sá, Melina Korres Raimundi, Milton Luiz da Paz Lima

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.01

Capítulo 2: Reconhecimento de padrões para identificacação da perda de água em plantas de alface hidroponica submetidas a falhas no sistema de irrigação..... 15

Eduardo Ribeiro Pereira Leal, Deborah Catharine de Assis Leite, André Sandmann, Fabiana Costa de Araujo Schutz, Fernando Schutz, Bruna Fernanda Brustolin Ramos, Juliano Triacca

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.02

Capítulo 3: Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos de um latossolo e componentes de produção da cultura do milho em áreas com e sem aplicação de Microgeo® no Cerrado..... 36

Paulino Taveira de Souza, Rafael Montanari, Nilton Eugénio Mário, Maria Júlia Betiolo Troleis, Rayner Sversut Barbieri

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.03

Capítulo 4: Avaliação de bioindicadores do solo submetido à irrigação com efluente industrial tratado de abatedouro de aves..... 66

Fabiana Costa de Araujo Schutz, Rodrigo José de Vargas, André Sandman, Izabela Regina Costa Araujo, Juliano Triacca

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.04

Capítulo 5: Economia circular com enfoque em resíduos alimentares: a utilização de inteligência artificial e blockchain 92

Hermenegildo Almeida Chingamba, Geneci Ribeiro Rocha

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.05

Capítulo 6: Motor de indução funcionado no sistema MRT com uso de capacitor permanente..... 111

Eduardo David, Vitor Prampero

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.06

SUMÁRIO

Capítulo 7: Estratégias nutricionais e ambientais que podem ser adotadas para aves em estresse térmico e os impactos sobre a produtividade e bem-estar desses animais... 116

Pedro Afonso de Souza Ezidio, Luany Emanuella Araujo Marciano, Marcos Adriano Pereira Barbosa, Uilquer Silva dos Santos, Simara Marcia Marcato

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.07

Capítulo 8: Modificações fisiológicas e morfológicas sofridas pelos frangos de corte durante o ciclo de vida, associadas a susceptibilidade ao estresse térmico..... 126

Pedro Afonso de Souza Ezidio, Luany Emanuella Araujo Marciano, Leonardo Barriviera Furuya, Uilquer Silva dos Santos, Simara Marcia Marcato

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.08

Capítulo 9: Uso de revisões sistemáticas e meta-análises aplicados em estudos com *Apis mellifera*..... 138

Leandro Alves da Silva, Tasyely Daylhany Freire de Lima, Hérica Girlane Tertulino Domingos, Luciana Veras de Aquino Figueirôa, Francisco de Assis Junior, Lucas da Silva Morais, Edgar Rodrigues de Araujo Neto, Kátia Peres Gramacho

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.09

Capítulo 10: Produção de pólen apícola e comportamento higiênico em colônias de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*)..... 153

Edgar Rodrigues de Araujo Neto, Lucas da Silva Morais, Leandro Alves da Silva, Nailton Oliveira de Sousa Chagas, Camila dos Santos Rezende, Jonatan Mikhail Del Solar Velarde, Tasyely Daylhany Freire de Lima, Kátia Peres Gramacho

DOI: 10.36229/978-65-5866-438-3.CAP.10

Autores..... 161

Capítulo 1

Adjuvantes na melhoria da eficiência de fungicidas no controle de doenças

Francisco Italo Ferreira Fernandes
Marciel José Peixoto
Leidy Ximena Figueroa Cossiol
Carlos Gabriel Xavier Dourado
Guilherme Mosena de Souza
Edson Trindade da Silva Sá
Melina Korres Raimundi
Milton Luiz da Paz Lima

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso de produtos adicionados a calda de fungicidas para controle de doenças da soja. O trabalho foi conduzido na safra de verão 2015/2016 utilizando a soja (cv. Brasmax Bônus 8579RSF IPRO©), em blocos casualizados composto por cinco tratamentos e cinco repetições, avaliou-se a severidade de doenças aos 49 dias após o plantio (DAP), 56 (DAP), 62 (DAP), 82 (DAP), 91 (DAP) e 105 (DAP), que serviu para cálculo da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa de crescimento (TC - regressão); e a produtividade (kg/ha) aos 110 (DAP). Os fungicidas proporcionaram efeito significativo na redução de manchas foliares merecendo destaque os tratamentos T4 [trifloxistrobina + protioconazol na primeira aplicação e trifloxistrobina + ciproconazol na segunda aplicação] e T5 [adjuvante, trifloxistrobina + protioconazol, óleo mineral, fertiaditivo na primeira aplicação, e adjuvante, trifloxistrobina + ciproconazol, óleo mineral, fertiaditivo na segunda aplicação], expressando eficiência de controle de 65,60 a 67,36 %, respectivamente. A aplicação isolada de fungicida trifloxistrobina + protioconazol e trifloxistrobina + ciproconazol (T4) e trifloxistrobina + protioconazol adicionado de fertiaditivo, adjuvante e óleo mineral; e trifloxistrobina + ciproconazol (T5) expressaram estatisticamente os menores valores de AACPD e TC. Os tratamentos aplicados mostraram eficiência no aumento do rendimento de 0-10 % merecendo destaque a aplicação sem fertiaditivo, óleo mineral e adjuvante [trifloxistrobina + protioconazol e trifloxistrobina+ciproconazol]. Neste experimento a presença de adjuvantes influenciou na dinâmica de crescimento e desenvolvimento de doenças, não apresentando impacto significativo na produtividade.

Palavras-chave: eficiência de controle; produtividade; severidade.

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L) Merrill) tem grande importância no agronegócio. Seu cultivo estendeu-se por todo mundo, sendo considerada a cultura mais expandida nos campos agrícolas do mundo inteiro (MEDICE *et al.*, 2007). Segundo a Conab (2024), na safra de 2023/2024, foi cultivada uma área de 46,030 milhões de hectares com produtividade média de 3202 kg ha^{-1}. Nessa mesma safra a produção nacional alcançou 147.336,6 milhões de toneladas.

A região Centro Oeste e região Sul se destacam como a maiores produtores de soja no Brasil. Com 38,0 milhões de t o Estado do MT se destaca no Centro Oeste com maior produção, seguidos de 15, 2 milhões de t o Estado de GO, 8,5 milhões de t o Estado do MS e 303 mil t no Estado do DF, correspondendo respectivamente a 31,7% (MT), 12,5 % (GO), 7,0 % (MS) e 0,25% (DF) da produção brasileira no ano de 2022. Com 13,7 milhões de t o Estado do Pr se destaca como maior produtor da região Sul, seguido do Estado do RS com 9,3 milhões de t e o Estado de SC com 2,1 milhões de t. Esses parâmetros correspondem a 11,35 % (PR), 7,7 % (RS) e 1,7 (SC) da produção brasileira no ano de 2022 (IBGE, 2024). A matéria prima proveniente da soja pode ser utilizada pela agroindústria, indústria química e de alimentos, com destaque para a obtenção de óleo refinado a partir do óleo bruto e produção de rações animais (NAZATO, 2014).

Com o potencial avanço produtivo da soja em todo o mundo, houve o aparecimento de várias doenças fúngicas de grande potencial que atualmente tem acarretado significativos danos e prejuízos em lavouras. Essas perdas podem ser minimizadas ou até mesmo evitadas com eficientes formas de manejo, sendo uma dessas formas a utilização de fungicidas que, atualmente, é a forma de controle mais utilizada (DALBOSCO *et al.*, 2011). Para tanto, a combinação de vários ingredientes ativos (i.a.), em especial triazóis juntamente com as estrobilurinas, são amplamente utilizados (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

É comum a utilização de adjuvantes e fertiaditivos para a melhoria na aplicação desses produtos fitossanitários no manejo das doenças. Os adjuvantes proporcionam maior cobertura nas folhas e aumentam a absorção do ingrediente ativo nos tecidos vegetais (NASCIMENTO *et al.*, 2012). Segundo BARBIERO (2015) o fertiaditivo possui em sua formulação aditivos com ação dispersante que reduz a tensão superficial das gotas, melhora a distribuição dos produtos sobre os alvos, potencializa o desenvolvimento vegetativo das plantas e atua na síntese de proteína, favorecendo o desempenho da cultura.

Segundo VARGAS & ROMAN (2006) os adjuvantes são separados em dois grupos: os modificadores dos atributos de superfície dos líquidos (surfactante: espalhante, umectante, detergentes, dispersantes e aderentes, entre outros) e os aditivos (óleo mineral ou vegetal, sulfato de amônio entre outros) que afetam a absorção devido à sua ação direta sobre a cutícula.

Os adjuvantes são substâncias adicionadas à formulação do fungicida ou à calda para aumentar a eficiência do produto, visando facilitar aplicação ou minimizar possíveis problemas. O uso de óleo mineral dito como aditivo irá afetar a absorção do produto pela planta, atuando sobra a cutícula da planta (VARGAS e ROMAN, 2006). Os óleos quando adicionados a calda aumentam a absorção, reduzem a deriva, retardam a evaporação da gota, atuam como espalhante e adesivo.

O objetivo com esta pesquisa foi estudar o efeito do fertiaditivo, adjuvante e óleo mineral, na melhoria de eficiência de fungicidas no controle de doenças da soja.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 2015/2016, situado na Estação Experimental RC Cruz, Fazenda Esmeralda (Rodovia BR 050, latitude: 17°29'31.35", longitude: 48°12'56.93", altitude: 908 m), localizada no município de Ipameri, GO. O solo foi caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

O sistema de plantio adotado foi o plantio direto, portanto não foi feito nenhuma atividade em relação ao solo, o plantio ocorreu sobre palhada de milho. A adubação foi parcelada em três etapas, sendo realizada a primeira antes do plantio, onde foi aplicado 100 kg ha^{-1} (4:14:8) a lanço. No sulco de plantio foi aplicado 180 kg ha^{-1} do adubo formulado 05-33-00 e o cloreto de potássio (KCl) foi aplicado a lanço no momento do plantio, onde foi aplicado 120 kg ha^{-1}.

O tratamento de sementes para plantio foi realizado com os i.a. thiametoxan – dosagem de 1,50 mL kg^{-1}, metalaxil + fludioxonil – dosagem de 1,50 mL kg^{-1}, comoplastino – de 1,70 mL kg^{-1}, cinetina + ácido giberélico + ácido 4-indol 3-ilbutírico – dosagem de 3,0 mL kg^{-1}. Para o controle das ervas daninhas foram realizadas aplicações de herbicidas aos 30 dias após o plantio. Os herbicidas utilizados foram glifosato – dosagem de 3,0 L ha^{-1} e fluazifope-p-butílico – dosagem de 0,750 L ha^{-1}. Para o controle de pragas foi feita a primeira aplicação com dois inseticidas aos 30 dias após o plantio. Os inseticidas utilizados foram o bifentrina+ carbosulfano – dosagem de 1,0 L ha^{-1} e bifentrina – dosagem de 0,20 L ha^{-1}. Esses inseticidas foram usados para o controle de lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatalis*) e vaquinha *(Diabrotica speciosa)*. O volume de calda utilizado para a aplicação dos herbicidas, inseticidas, adubos foliares e fungicida foi de 150 L ha^{-1}.

A semeadura foi realizada em 04 de dezembro 2015, sendo avaliados cinco tratamentos: testemunha, sem aplicação de fungicida representada por T1; Adjuvante [0,1%], trifloxistrobina + protioconazol [0,4 L ha^{-1}] e Fertiaditivo [0,05 %] pulverizado no estádio R1, segunda aplicação de adjuvante [0,1 %], trifloxistrobina + ciproconazol [0,12 L ha^{-1}] pulverizado no estádio R1 mais 15 dias, e fertiaditivo [0,05 %] pulverizado no estádio R1 mais 30 dias, representando o tratamento T2; primeira aplicação de trifloxistrobina + protioconazol [0,4 L ha^{-1}] e óleo mineral [0,5 L ha^{-1}] pulverizada no estádio R1 mais 15 dias, segunda aplicação de trifloxistrobina + cipoconazol [0,12 L ha^{-1}] e óleo mineral [0,5 L ha^{-1}] pulverizada no estádio R1 mais 30 dias, representando o tratamento T3; a primeira aplicação composta de trifloxistrobina + protioconazol [0,4 L ha^{-1}] pulverizada no estádio R1 mais 15 dias e a segunda aplicação de trifloxistrobina + ciproconazol [0,12 L ha^{-1}] pulverizada no estádio R1 mais 30 dias, representando o tratamento T4; por fim a primeira aplicação de adjuvante [0,1 %], trifloxistrobina + protioconazol [0,4 L ha^{-1}], óleo mineral [0,5 L ha^{-1}] e fertiaditivo [0,5 %] pulverizada no estádio R1 mais 15 dias, a segunda aplicação composta de adjuvante [0,1 %], trifloxistrobina + ciproconazol [0,12 L ha^{-1}], óleo mineral [0,5 L ha^{-1}] e fertiaditivo [0,05 %] pulverizados no estádio R1 mais 30 dias., representando o tratamento R5. Os tratamentos foram distribuídos em cinco blocos casualizados, totalizando em 25 unidades experimentais.

Cada unidade experimental apresentou as dimensões de 9 x 4 m, com área de 36 m^2 por parcela e espaçamento entre linhas de 0,5 m, totalizando 180 plantas por parcela. Foram desprezados 1 m das extremidades (bordadura), e assim as avaliações foram realizadas nas seis linhas centrais.

A severidade de doenças na soja foi avaliada a partir do estádio fenológico R1. As avaliações foram realizadas a partir de notas visuais dos sintomas (% de área foliar afetada), atribuindo percentual de tecido foliar com sintomas das doenças. A partir dos

valores foram calculados a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). As medições sanitárias foram: a variável dependente severidade da doença (aos 49, 56, 62, 82, 92 e 105 dias após o plantio, DAP) e AACPD. Foi calculada a AACPD integrando a curva de progresso da doença para cada tratamento (severidade x dias). A taxa de crescimento da doença (TC), representada por % de severidade da doença dia, foi calculado pelo valor do coeficiente angular da regressão dos dias de avaliação (X) com os valores de severidade da doença (Y).

Para cálculo da eficiência de controle (EC) das variáveis dependentes mensuradas (severidade, AACPD, produtividade), utilizamos a testemunha como escala de 100 %, e pela regra de três os valores reduzidos/aumentados das testemunhas por comparação calculou-se a proporção de redução promovido pela combinação do tratamento químico.

Avaliou-se a produtividade contando o número de plantas presentes em quatro linhas de plantio de 2,5 m, onde dividiu-se o número de plantas pelo espaçamento entre linhas utilizado e multiplicou por 10 para saber a quantidade de plantas por ha. Depois disso, contou-se o número de vagens em 10 plantas consecutivas nas linhas de plantio e dividiu-se o número de vagens por 10, sabendo-se o número de vagens médio/planta. Tomou-se 50 vagens, e contou-se o número de sementes presentes. Dividiu-se por 50 para achar o número médio de sementes por vagem. Pesou-se 1000 sementes para saber o peso de 1000 grãos. Considerada a correção da umidade das sementes para 12 %. A produtividade foi calculada tomando-se a quantidade de plantas por ha x o número médio de vagens por planta x número médio de sementes por vagem x peso de 1000 grãos ÷ 60.000 encontrando assim a estimativa de produtividade.

As variáveis sanitários e de produção foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey utilizando o “software” estatístico Assistat® versão 7.7 Beta pelo procedimento em “blocos com repetições”.

3. RESULTADOS

Oito doenças foram responsáveis pela severidade aos 82, 91 e 105 dias após o plantio representados por: ferrugem-asiática-da-soja (FER), oídio (OID), míldio (MIL), crestamento bacteriano (CRES), fumagina (FUM), antracnose (ANT), cercosporiose (CER) e mancha alvo (MAN). As manchas foliares avaliadas é de responsabilidade por um misto de doenças citadas acima que provocaram redução da área fotossintética. Matsuo *et al*. (2015) afirmaram que no Brasil das 46 doenças da soja, 33 são causadas por fungos (sete identificadas no experimento), seis por nematoides, quatro por vírus e três por bactérias (uma identificada no experimento) (Tabela 2).

Os tratamentos aplicados apresentaram eficácia para o controle de manchas foliares, pois, as maiores porcentagens foram obtidas na testemunha (sem controle químico). As menores percentagens de tipos de doenças foram obtidas para os tratamentos quatro e cinco, com destaque para o tratamento 4 (trifloxistrobina + protioconazol e trifloxistrobina + ciproconazol) na avaliação de 105 dias após o plantio (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência dos tipos de doenças identificadas na cultura durante o ciclo de avaliação da soja Brasmax Bônus 8579 RSF IPRO©.

Trat.	Descrição dos produtos	% de incid. de doenças aos 82 DAP								% de incid. de doenças aos 91 DAP								% de incid. de doenças aos 105 DAP							
		MD	CR	CE	ANT	MA	FU	OI	FER	MD	CR	CE	ANT	MA	FU	OI	FER	MD	CR	CE	ANT	MA	FU	OI	FER
T1	Testemunha	72	42	20	14	38	76	0	0	34	86	8	10	18	84	2	62	98	30	10	8	22	86	18	92
T2	Adjuvante (Desadere@) + trifloxistrobina + protioconazol(Fox@) + Fertiaditivo (Allerbiw@) / Adjuvante (Desadere@) + trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax@) + Fertiaditivo (Allerbiw@)	38	32	30	14	28	70	0	0	28	80	12	8	14	74	0	56	80	28	8	0	16	58	6	66
T3	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) + óleo mineral (Aureo@) / trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax@) +óleo mineral (Áureo@)	62	28	26	10	30	60	0	0	24	68	12	4	18	74	2	60	84	26	6	4	18	62	0	64
T4	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) / Trifloxistrobina + cioproconazol (Spheremax@)	46	34	18	10	22	58	2	0	20	66	12	2	18	74	2	60	68	24	2	0	22	78	0	58
T5	Adjuvante (Desaderec@) + trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) + óleo mineral (Aureo@) + Fertiaditivo (Allerbiw@) / Adjuvante (Desadere@) trifloxistrobina + ciproconazol (Sphere Max@) + óleo mineral(Áureo@) + Fertiaditivo (Allerbiw@)	54	44	18	10	34	56	0	0	24	66	10	6	8	74	0	62	86	22	6	8	18	58	0	60

MD - míldio; CR – crestamento bacteriano; CE – cercosporiose; ANT – antracnose; MA – mancha alvo; FU – fumagina; OI – oídio; FER – ferrugem.

Observou-se diferenças estatísticas entra as médias de severidade avaliada nos diferentes dias de avaliação, da AACPD e TC. Ao final do ciclo da lavoura de soja, aos 105 DAP, as médias de AACPD e as médias da TC da doença (% da doença / dia) merece destaque os tratamentos T4 (trifloxistrobina + protioconazol e trifloxistrobina + ciproconazol) e T5 (adjuvante + trifloxistrobina + protioconazol + óleo mineral + fertiaditivo + trifloxistrobina + ciproconazol) pela promoção da redução da severidade da doença. Nos estádios iniciais dos 49 ao 91 DAP, qualquer tratamento se mostrou eficiente no controle, valendo a pena apontar o tratamento que se utiliza menor quantidade de insumo, e consequentemente apresenta-se o menor custo benefício. O tratamento 2 (adjuvante + trifloxistrobina + protioconazol + fertiaditivo + trifloxistrobina + ciproconazol) foi menos eficiente no controle de doenças, contudo foi superior à testemunha (Tabela 3).

Os tratamentos mais eficientes tiveram eficiência de controle na amplitude de 65,6 à 67,4 % representados pelos tratamentos T4 e T5 (Tabela 3).

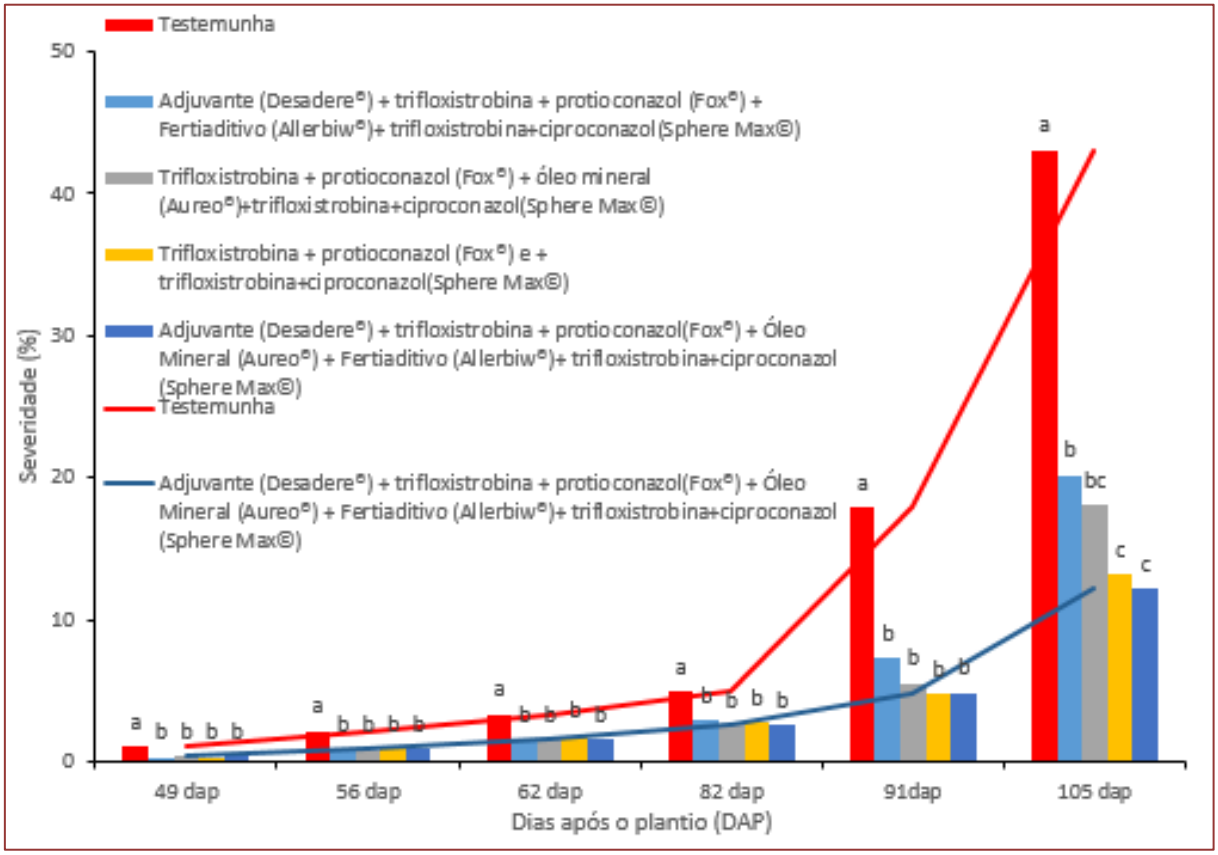
Tabela 3. Médias de severidade transformadas por raiz √(x+10)(%) nas épocas de avaliação em dias após o plantio (DAP), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), taxa de crescimento (TC) e eficiência do controle da AACPD (ECAACPD), nas diferentes combinações de tratamentos químicos aplicados em soja Brasmax Bônus 8579 RSF IPRO©*.

Ord.	Tratamentos	Severidade (%)						AACPD	TC	EC AACPD
		49 DAP	56 DAP	62 DAP	82 DAP	91 DAP	105 DAP			
T1	Testemunha	1,13 a	2,18 a	3,34 a	4,96 a	17,88 a	43,08 a	640,7 a	0,64 a	nd
T2	Adjuvante (Desadere®) + trifloxistrobina + protioconazol(Fox®) + Fertiaditivo (Allerbiw®) / Adjuvante (Desadere®) + trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax®) + Fertiaditivo (Allerbiw®)	0,35 b	0,81 b	1,57 b	2,97 b	7,33 b	20,2 b	295,8 b	0,3 b	53,82 b
T3	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox®) + óleo mineral (Aureo®) / trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax®) +óleo mineral (Áureo®)	0,41 b	0,87 b	1,57 b	2,59 b	5,53 b	18,1 bc	255,3 bc	0,26 bc	60,14 ab
T4	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox®) / Trifloxistrobina + cioproconazol (Spheremax®)	0,36 b	0,97 b	1,85 b	2,79 b	4,82 b	13,24 c	220,3 c	0,19 c	65,61 a
T5	Adjuvante (Desaderec®) + trifloxistrobina + protioconazol (Fox®) + óleo mineral (Aureo®) + Fertiaditivo (Allerbiw®) / Adjuvante (Desadere®) trifloxistrobina + ciproconazol (Sphere Max®) + óleo mineral(Áureo®) + Fertiaditivo (Allerbiw®)	0,42 b	0,94 b	1,64 b	2,65 b	4,88 b	12,22 c	209,1 c	0,17 c	67,36 a
	Valor F 4,225 =	22.70**	38.84**	21.61**	21.61**	42.93**	43.25**	68.96**	49.21**	F 3.180 = 5,36**
	CV (%)	2.35	3.31	5.55	5.55	14.96	20.11	21.51	0.93	17.17

*Médias transformadas seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Scott Knott (P≃0,05).

O período mais crítico ou a maior faixa de diferença entre os tratamentos foi observada a partir dos 82 DAP tanto nos tratamentos sem aplicação de fungicidas, como nos tratamentos em que se aplicaram combinações químicas (T2 a T5). Sempre a testemunha apresentou maiores médias de severidade da doença nos diferentes dias de avaliações, evidenciando a influência da combinação química com as sanidade e/ou severidade das folhas de soja. O limite superior encontra-se representado pela curva em vermelho e o limite inferior está apresentado pela curva em azul. Considerando que o objetivo é obter os menores índices possíveis de severidade de doenças, observou-se que o tratamento 5 apresentou melhor controle com a curva em azul, indicando a maior eficiência de controle, englobando nesta amplitude os demais tratamentos (Figura 1).

Figura 1. Curva e Progresso temporal da severidade (%) nas épocas de avaliação em dias após o plantio nas diferentes combinações de tratamentos aplicados em soja Brasmax Bônus 8579 RSF IPRO©. (Médias transformadas seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Scott Knott, P≂0,05).



4. DISCUSSÃO

Para a produtividade não se observou diferença entre os tratamentos (Tabela 4).

A aplicação preventiva nos primeiros estádios iniciais R1 (florescimento) dos 15-30 dias após, não influenciou estatisticamente a produtividade (tanto em kg ha^{-1} como sacas.ha^{-1}) (Tabela 4). Segundo Cunha e Peres (2010), o uso de azoxistrobina + ciproconazol (0,3L ha^{-1}) utilizando adjuvante a calda, foi observado incrementos de produtividade a cultura da soja.

Numericamente o tratamento T4 (trifloxistrobina + protioconazol/ trifloxistrobina + ciproconazol) apresentou o maior valor de produtividade representado por 3256,0 kg.ha^{-1} (54,3 sc.ha^{-1}) que em comparação com o cultivo sem aplicação apresentou uma diferença de 296 kg/ha (5 sc.ha^{-1}), que numa área de 100 ha por exemplo, a aplicação do tratamento poderia resultar nas mesmas condições um acréscimo de produção de 29600,00 toneladas de soja (493 ~ 500 sc.ha^{-1}), considerando o preço da soja hoje R$ 73,00 (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2016), o incremento do tratamento seria de R$ 36500,00 (Tabela 4).

O fungicida trifloxistrobina + protioconazol para 1 ha custa aproximadamente R$ 68,00, para 100 ha gastaria em torno de R$ 6800,00 (primeira aplicação); e o fungicida

trifloxistrobina + ciproconazol custa R$ 24,00 por ha, sendo em 100 ha gastaria R$ 2400,00 (segunda aplicação). Seria gasto por 100 hectares o somatório dos dois fungicidas (duas aplicações em R1 até 30 dias, conforme experimento) o valor de R$ 9200,00 reais / 100 ha.

Totalizando apenas o custo de aplicação de R$ 1110,00, mais o custo do fungicida R$ 9200,00, totalizaria um gasto no valor de R$ 10310,00 reais / 100 ha. Finalizando esta análise o incremento do tratamento produziria uma receita de R$ 36500,00, subtraindo o custo de R$ 10310,00 reais/100 ha, o tratamento T4 apresentaria uma rentabilidade de R$ 26190,00.

O tratamento 2 em relação a produtividade obtida, representado pelo Adjuvante + trifloxistrobina + protioconazol + Fertiaditivo - primeira aplicação / Adjuvante + trifloxistrobina + ciproconazol + Fertiaditivo - segunda aplicação, não expressou incrementos na produtividade (Tabela 6).

As demais combinações de tratamentos e os acréscimos numéricos de rendimento poderiam ser expressos em porcentagens como o tratamento 3 representado por Trifloxistrobina + protioconazol + óleo mineral - primeira aplicação / trifloxistrobina + ciproconazol + óleo mineral - segunda aplicação foi de 7,7 % de incremento em relação à testemunha. O tratamento 5 representado por adjuvante + trifloxistrobina + protioconazol + Óleo Mineral + Fertiaditivo - primeira aplicação / Adjuvante + trifloxistrobina + ciproconazol + Óleo Mineral + Fertiaditivo - segunda aplicação foi de 8,7 % de incremento em relação à testemunha (Tabela 4).

Tabela 4. Médias de produtividades da soja com aplicação combinações de tratamentos químicos para controle de doenças fúngicas*. Ipameri 2015/2016.

Ord.	Tratamentos	Dose (L.ha-1 ou %)	Aplicações	Produtividade		Eficiência dos tratamento (%)	
				kg/ha	Sc/ha	kg/ha	Sc/ha
T1	Testemunha	-	-	2956,8 a	49,3 a	-	-
T2	Adjuvante (Desadere@) + trifloxistrobina + protioconazol(Fox@) + Fertiaditivo (Allerbiw@) / Adjuvante (Desadere@) + trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax@) + Fertiaditivo (Allerbiw@)	0,1% + 0,4 + 0,05% / 0,1% + 0,12 + 0,05%	R1 > R1 +15 / R1+30	29,59,3 a	49,3 a	-0,01	0
T3	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) + óleo mineral (Aureo@) / trifloxistrobina + ciproconazol (Spheremax@) +óleo mineral (Áureo@)	0,4 + 0,5 / 0,12 + 0,5	R1 > R1 +15 / R1 + 30	3186,0 a	53,1 a	7,6	7,7
T4	Trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) / Trifloxistrobina + cioproconazol (Spheremax@)	0,4 / 0,12	R1 > R1 +15 / R1 + 30	3256,0 a	54,3 a	10,1	10,1
T5	Adjuvante (Desaderec@) + trifloxistrobina + protioconazol (Fox@) + óleo mineral (Aureo@) + Fertiaditivo (Allerbiw@) / Adjuvante (Desadere@) trifloxistrobina + ciproconazol (Sphere Max@) + óleo mineral(Áureo@) + Fertiaditivo (Allerbiw@)	0,1% + 0,4 + 0,5 + 0,05% / 0,1% + 0,12 + 0,5 + 0,05%	R1 > R1 +15 / R1 + 30	3218,6 a	53,6 a	8,7	8,7
	Valor F 4,16 = CV (%)			1,5432 $^{n\,s}$ 8,37	1,5405 $^{n\,s}$ 8,37	nd	nd

*Médias transformadas seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si ao teste Scott-Knott (P≃0,05).

5. CONCLUSÕES

Não houve efeito na incidência dos tipos de doenças ou predominância de um fitopatógeno (complexo de doenças a campo) pelas combinações de tratamentos

químicos. As combinações dos tratamentos químicos reduziram a severidade de doenças. Não houve diferença entre os tratamentos sobre a produtividade da soja Brasmax Bônus 8579 RSF IPRO na safra 2015/2016.

A soja Brasmax Bônus 8579 RSF IPRO somado ao tratamento químico expressou comportamento de tolerância a doenças, já que apresentou danos provocados por oito tipos de patógenos no período avaliado e estes não provocaram reduções de produtividade.

O rendimento como variável dependente não diferenciou os tratamentos, contudo em termos econômicos, para cultivos extensivos (soja) o impacto das combinações químicas estudadas gera receita econômica, com exceção do tratamento Adjuvante, trifloxistrobina + protioconazol e Fertiaditivo - primeira aplicação / Adjuvante, trifloxistrobina + ciproconazol e Fertiaditivo - segunda aplicação.

REFERÊNCIAS

[1] BARBIERO. **Informativo Barbiero**: Visão do Campo. Distribuição Interna ANO V – Número 11. 2015.

[2] CONAB, **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos, 10º. Levantamento safra 2023/2024**. Disponível em < file:///Users/miltonlima/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z10Zlevantamento_1.pdf >, acessado em agosto de 2024.

[3] CUNHA, J.P.A.R.; PERES, T.C.M. **Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja.** Acta Scientiarum Agronomy, v. 32, n. 4, p. 597-602, 2010.

[4] DALBOSCO, J.; PAVAN, W.; DELPONTE, E.; GODOY, C.V.; FERNANDES, J.M.C.; CERVI, C.R.; **Aplicações ricas no controle de doenças da soja**. Embrapa soja – Artigo em anais de congresso. Seção pôster 2, 2011.

[5] IBGE. **Levantamento sistemático da produção de soja.** Disponível em: < https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br >, acessado em agosto de 2024.

[6] KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultiváveis**. 4ª ed., v.4, Editora Agronômica de Ceres Ltda. São Paulo, 1997.

[7] MATSUO, E., LOPES, E.A., SEDIYAMA, T. **Manejo de doenças**. In: SEDIYAMA, T. SILVA, F., BORÉM, A. Soja do plantio a colheita. Editora UFV. Viçosa, p. 288-309, 2015.

[8] MEDICE, R., ALVES, E., ASSIS, R.T., MAGNO JUNIOR, R.G., LOPES, E.A.G.L. Óleos essenciais no controle da ferrugem asiática da soja. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 1, p. 83-90, 2007.

[9] NASCIMENTO, J.M. **Aplicação de fungicidas em associação com diferentes adjuvantes no controle da ferrugem asiática da soja.**Tese de Doutorado, de Mestrado, UFGD, Dourados, MS, 2012.

[10] NAZATO, F. M. **Análise de tolerância a ferrugem asiática em dialelo parcial com genitores transgênicos e convencionais de soja.** 2014, 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

[11] NOTÍCIAS AGRICOLAS **Notícias agrícolas seja porta voz de si mesmo.** Disponível em:<www.noticiasagricolas.com.br>, acessado em 03 de agosto de 2016.

[12] RICHETTI, A. e ROESE, A.D. **Custo do controle químico da ferrugem asiática da soja em Dourados, MS, para a safra 2008/09.** Embrapa, Dourados, MS, comunicado Técnico no.150, 2008.

[13] VARGAS, L.; ROMAN, E. S. **Conceitos e aplicações dos adjuvantes.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p.

Capítulo 2

Reconhecimento de padrões para identificacação da perda de água em plantas de alface hidroponica submetidas a falhas no sistema de irrigação

Eduardo Ribeiro Pereira Leal
Deborah Catharine de Assis Leite
André Sandmann
Fabiana Costa de Araujo Schutz
Fernando Schutz
Bruna Fernanda Brustolin Ramos
Juliano Triacca

Resumo: Tendo em vista o crescimento populacional e uma possível escassez de alimentos, se faz necessário produzir mais em um menor espaço, de forma eficiente sem desperdício de água e sem prejudicar o meio ambiente, o cultivo hidropônico utilizando sistemas NFT (Nutrient Film Technique) em ambiente controlado possibilita uma opção promissora porém, carente de tecnologia; neste contexto aprofundou o estudo sobre manejo de cultivo hidropônico, a fim de desenvolver um modelo de detecção e classificação da alface hidropônica crespa verde, trazendo mais tecnologia ao processo e submetendo o manejo à falhas no sistema de irrigação para desenvolver um modelo que pudesse detectar com o uso de rede neural convolucional artificial possibilitando indicar e classificar o cultivar em com estresse ou sem estresse. Foi criada uma base de dados disponibilizado para treinamento e validação da RNA onde as imagens foram previamente selecionadas e agrupadas em suas classes. O monitoramento dos parâmetros efetuado de maneira manual foi substituído por um protótipo de um modulo utilizando IOT unificados na plataforma de desenvolvimento Arduino com sensores efetuando a tarefa de armazenamento dos parâmetros de temperatura ambiente, umidade ambiente , pH e temperatura da solução. Diante da pesquisa do estado da arte na detecção de objetos a escolha do framework Yolov4 sendo a melhor na relação velocidade e precisão ou mesmo maior precisão na mesma velocidade, sendo compatível com versões de uso de CPU ou GPU com o uso da rede neural convolucional artificial Darknet-53 que utiliza 53 camadas convolucionais e utiliza GPU. Testes de falhas no sistema indicaram perdas entre 42% e 44% em seu peso, foram coletadas material digital contendo mais de cem GB em vídeos e imagens da fase final de cultivo. A hipótese nula (H0) foi confirmada mostrando a consistência da hipótese estabelecida sugerindo com base nas amostras e conjuntos apresentados que o modelo é eficaz sendo capaz de identificar a falha no sistema de irrigação com 98% de precisão. Esses resultados indicam que o processamento digital de imagem com o uso de rede neural convolucional artificial é uma abordagem promissora para a detecção de padrões em cultivares hidropônicos. Espera-se que as contribuições deste estudo sejam aplicadas em futuros desenvolvimentos na área de visão computacional, auxiliando na rápida identificação da crise e evitando perdas.

Palavras-Chaves: alface hidropônica; internet das coisas; rede neural.

1. INTRODUÇÃO

A demanda global por alimentos deverá aumentar 1,3% a.a. na próxima década, impulsionada pelo crescimento da população e renda per capita. A população mundial deverá crescer de uma média de 7,7 bilhões em 2018-20 para 8,5 bilhões em 2030. (FAO 2021). Com a crescente demanda, crescimento populacional e uma possível escassez de alimentos se faz necessário produzir mais em um menor espaço, de forma eficientemente sem desperdício de água e sem prejudicar o meio ambiente, o que mostra a importância do cultivo hidropônico em relação a outras formas de cultivo que não possibilitam a mesma eficiência.

Na Hidroponia o cultivo pode ser feito mesmo em situações climáticas adversas, como chuvas, ventos, granizo ou mesmo em temperaturas variadas, adaptando-se a diversos tipos de locais assim como sofre pouca influência das épocas do ano devido a ser cultivada em ambiente protegido. Segundo (FAO 2014) o monitoramento e controle favorecem também um cultivar econômico com reaproveitamento dá agua que é um bem precioso e escasso em muitas regiões mesmo no Brasil, considerado o país mais rico do mundo em recursos hídricos, existem problemas sérios de escassez de água, visto que a maior parte desse recurso disponível se encontra longe dos grandes conglomerados urbanos, ou seja, dos principais centros produtores e consumidores (JANOSIK, 2008).

O uso de sensores, câmeras, drones, permite coletar informações das plantas de uma forma não invasiva em comparação com os métodos químicos e físicos e não causam danos às plantas (TIAN et al., 2021). Assim o pequeno produtor pode otimizar ou mesmo iniciar sua produção mesmo em pequenos espaços com um cultivar promissor, sem agredir o meio ambiente, e sem desperdícios de recursos, gerando uma alimentação saudável. Segundo FERRAG (2021) recentemente o uso de IOT (Internet of Things) têm sido implantado na agricultura 4.0 com gerenciamento da cadeia de suprimentos, água inteligente aplicativos de agroquímicos, gerenciamento de doenças, colheita e monitoramento inteligentes.

O reconhecimento de imagens utilizando Rede Neural Artificial pode impulsionar a produção assim como possibilita a diminuição de riscos com perdas contribuindo assim para que o produtor possa se beneficiar diretamente de novas tecnologias, sistemas de visão computacional possibilitam em tempo real extrair várias características da planta, incluindo morfológicas (tamanho, forma, textura), dados espectrais (cor, temperatura, umidade) e temporais (taxa de crescimento, desenvolvimento, mudança dinâmica de estados espectrais e morfológicos)(STORY; KACIRA, 2014).

A realidade da Agricultura 4.0 podem ser direcionados a pequenos agricultores, dadas as tendências irreversíveis da urbanização e migração de uma população em declínio, chefiada por mulheres, envelhecimento da população. Esses agricultores podem se beneficiar de tecnologias e inovações em locais onde a agricultura ainda é um meio de subsistência ao invés de uma atividade geradora de renda. (CROP, 2020). Nesse contexto, o presente estudo se propôs a desenvolver um modelo de detecção e classificação da alface hidropônica crespa verde (*Lactuca sativa* L.) submetida a falhas no sistema de irrigação, utilizando Rede Neural Artificial (RNA). Para tanto, foi monitorada umidade e temperatura na casa de vegetação, além da temperatura da solução nutritiva do sistema NFT (fluxo laminar de nutrientes), na sequência, criou-se um banco de imagens da alface crespa em condições adequadas de produção e sob o efeito da falha no sistema de irrigação. Ainda, foi realizado o treinamento e validação da Rede Neural Artificial (RNA) para analisar parâmetros agronômicos da alface crespa. Todas essas etapas foram

desenvolvidas para verificar a hipótese de o sistema de reconhecimento de imagem ser eficiente em reconhecer a perda de água em plantas de alface em função das falhas no sistema de irrigação no cultivo.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na casa de vegetação em Santa Helena, no Oeste do Paraná. O clima é quente e temperado classificado como clima subtropical úmido com temperatura média 22.8 graus Celsius e pluviosidade média anual de 1863 milímetros e altitude de 227 metros. O manejo foi desenvolvido no sistema hidropônico NFT em casa de vegetação.

A casa de vegetação tem orientação Norte-Sul e ocupa uma área de 504 m^2 sendo 37 metros de comprimento, com 14 metros de largura e altura máxima de 4.5 metros Figura 01. A cobertura superior sendo em polietileno difusor de 52% com 120 micras, antiestético com transparência de 87% e 5 camadas com tratamento anti raios ultra violeta, a estrutura não contempla calhas ou sistemas de captação de águas pluviais, onde todas bancadas contam com instalação elétrica e hidráulica individuais.

Figura 1 – Imagem ilustrativa da hidroponia na cidade de Santa Helena - Paraná

Fonte: Autoria própria.

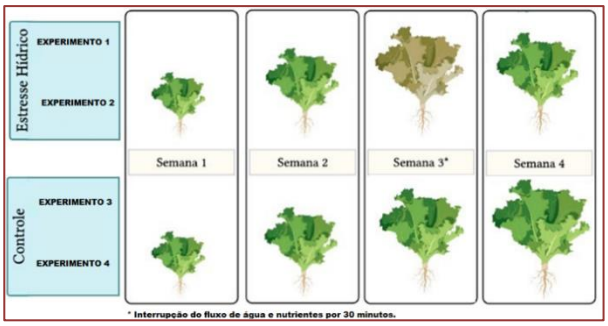
O experimento foi desenvolvido totalizando 4 manejos de cultivo das espécies. Os tratamentos foram divididos com a aplicação em dois experimentos: com estresse hídrico de 30 minutos, e outro grupo com o mesmo número sem a presença do estresse hídrico. Cada experimento conta com cinco repetições totalizando 20 amostras. O valor final do peso foi registrado após o manejo.

Para condução dos experimentos foi utilizada uma bancada possibilitando assim a nutrição igualitária entre os seis perfis numerados sequencialmente, iniciando pelo vinte e dois e terminando no vinte e sete, com capacidade máxima para até quarenta e sete unidades por perfil, para um melhor aproveitamento e ajustes do material digital o manejo se deu em apenas um perfil a cada semana possibilitando assim ter as quatro semanas juntas e maximizando o plantio conforme mostrado na Figura 02. Utilizou-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde cada perfil foi tratado como um experimento independente, controlando a variável de interesse, sendo analisados 4

experimentos aleatoriamente com uma amostra representativa do conjunto total de experimentos como mostra a figura 03.

Figura 2 – Distribuição semanal dos experimentos.

Figura 3 – Desenho Experimental.



Fonte : Autoria Própria (2022)

No delineamento inteiramente casualizado, cada perfil foi tratado como um experimento independente, coletando dados das variáveis de interesse, sendo analisados 4 experimentos. As vaiáveis foram classificadas em: fator: cultivares, categorias: experimentos, tratamentos com estresse: t1 e t2, tratamentos sem estresse: t3 t4, número de repetições: 5 repetições, delineamento: dic., tamanho da parcela : 20 amostras, bordadura : não aplicável (perfil), variáveis resposta: massa úmida (gramas).

Foram utilizados dois cultivares de alface verde crespa o Crocantela e Veneranda utilizando sementes peletizadas. Este cultivar é de porte grande e pode ser produzido em qualquer estação do ano, com o ciclo variando entre 40 e 45 dias após o transplante.

Nesse experimento para 100 litros de água, 42.90 gramas em pó Flex Vermelho composto por Nitrogênio: 9 % , Magnésio: 0,6%, Enxofre: 3%,P205: 9%, K2O: 37%, Manganês: 0,048% , Cobre: 0,031%, Cobalto: 0,002%, Zinco: 0,019 %, Boro: 0,048%, Molibdênio: 0,009%, Ferro: 0,148%, Níquel: 0,006% e Flex Azul composto de Nitrogênio: 13%, Cálcio: 15,5% , Magnésio: 2,85% com circulação da solução nutritiva em intervalos de quinze minutos durante o dia e três horas durante a noite com reposições da solução realizada diariamente ajustando o pH mantendo na faixa entre 5,5 e 6,5.

Para a avaliação das caraterísticas agronômicas foram mensurados a massa seca e úmida das plantas, e o número de folhas; durante os 120 dias de experimento. Ao final do experimento foi realizado a pesagem das plantas de alface e os resultados obtidos foram submetidos ao teste de ANOVA, com 5% de significância utilizando o software estatístico SISVAR 5.8 (FERREIRA, 2011) e os efeitos dos tratamentos foram discriminados pelo teste de Tukey a 5% para identificar as diferenças significativas entre médias e representação gráfica utilizando python com pacotes Matplotlib.

Um protótipo desenvolvido na plataforma Arduino Figura 37 fez o controle dos parâmetros do ambiente por meio dos sensores para uma melhora na padronização da coleta de informações e monitoramento do NFT, para edição do código fonte foi utilizado o Visual Studio Code editor desenvolvido pela Microsoft que inclui uma IDE onde através dela é possível escrever e testar o código e tratar versionamentos e emparelhar com

outros editores, a linguagem utilizada foi o C++ sendo necessário uma conexão USB entre o computador e a placa Mega 2560 para o envio e execução da rotina desenvolvida.

Para informar o estado do sistema, utilizou-se um *display* LCD possibilitando também verificar quando solicitado informações de temperatura ambiente e umidade do ar com os dados disponibilizados pelo sensor DHT11 posicionado do lado de fora do protótipo ar livre, para a medição da qualidade e condutividade da água foi utilizado o sensor TDS, na fase final do cultivo o pH da água necessita estar devidamente no valor entre 5.5, e 6.5 e para atender esta necessidade foi utilizado o sensor PH4502C que faz a medição e juntamente com o sensor de temperatura da água DS18B20 possibilita o constante monitoramento e aferição da qualidade ou mesmo de qualquer anomalia no sistema.

Para a criação da base de dados de imagens utilizada na rede neural, iniciamos com uma webcam Inilab CMSXJ22A, que possui resolução de captura de vídeo de 1080p e é acessível diretamente via porta USB. Posteriormente, migramos para uma câmera IP TP-Link NC450, que conta com o recurso de PTZ (Pan Tilt Zoom), permitindo um giro de 360 graus na horizontal. Essa câmera captura imagens de 1280 por 720p e pode ser conectada tanto via rede cabeada quanto sem fio, por meio de seu endereço IP. Além disso, suas fotos e vídeos podem ser acessados remotamente, dispensando a necessidade de dispositivos de armazenamento.

Figura 4 – Protótipo da Automação para monitoramento de parâmetros.

Fonte: autoria própria (2022).

Utilizou-se um DVR modelo MHDX 1016, com capacidade para 16 canais e suporte ao protocolo RTSP. e uma taxa de gravação de 480 FPS em NTSC e uma resolução de vídeo em pixels de 1080p (1.920 x 1.080). Além disso, integramos câmeras Intelbras modelo VHD 3230 B G4, que oferecem definição de imagens em Full HD (1080p). Essa combinação de equipamentos proporcionou uma base sólida para nossos testes e experimentos na área de processamento de imagens.

Um segundo conjunto de equipamento de DVR passou a ser testado sendo utilizado um DVR HCVR com capacidade para 16 canais e suporte ao protocolo RTSP com resolução de vídeo de 1080p (1.920 x 1080) com resolução de imagem de 2 MP, e quatro câmeras externas modelo DS-2CE16D07-VFIR3F com resolução de 2 MP turbo hd e com lentes VARI-FOCAL que permitem a configuração do foco e zoom.

Para a comunicação e coleta de imagens foi utilizado o protocolo RTSP (do inglês, *Real Time Streaming Protocol*) sendo um protocolo de transferência de streaming de dados multimidia diretamente pela rede em tempo real sendo a tecnologia responsável para que os DVR possam intermediar a comunicação com câmeras não IP.

Para a base de dados de imagens da alface crespa em condições adequadas serão coletadas vinte e nove imagens por dia durante os vinte e um dias de produção totalizando seiscentos e nove imagens e para a base de dados de alfaces submetidas a falhas no sistema de irrigação que ocasionam a parada total do fluxo laminar dos nutrientes a coleta quantifica seiscentos e nove amostras e perfaz o mesmo número de imagens, porém no tempo de simulação do experimento de duas horas.

A captura das imagens é feita automaticamente através de um script feito na linguagem *python,* que tem sua tarefa agenda diretamente no sistema operacional; sendo executada nos horários pré programados e também para o armazenamento das imagens capturadas utilizou-se um notebook HP i3 com 4 GB de memória RAM e 120 GB de HD SSD, a captura automática é feita através da extração das imagens do arquivo de gravação utilizando o programa Intelbras media player que efetua a transformação do vídeo em formato DAV sendo um formato criptografado de codec h.264/MPEG-4 transformando em imagens JPG , BMP ou mesmo AVI. Na Figura 5 pode-se observar o início dos testes de instalação em que buscava as melhores configurações e equipamentos.

Figura 3 – Exemplo de visualização no DVR seis primeiros canais da produção.

Fonte: autoria própria (2022).

Para definir a rede neural artificial a ser utilizada para classificação foi selecionado a opção de TensorFlow utilizando Keras considerando sua rapidez na configuração , instalação, prototipagem e simplicidade de uso podendo ser executado em um computador convencional, e também a Darknet utilizando o framework Yolo que foi considerado o estado da arte na detecção de objetos, utilizado para processar e classificar em tempo real necessitando um computador convencional mas com capacidade de processamento fazendo uso de unidade de processamento gráfico.

A rede neural foi construída utilizando a linguagem Python em conjunto com a bibliotecas Pandas para manipulação de dados. Para as operações numéricas e processamento de matriz e vetor foi utilizado o pacote NumPY. Os gráficos foram apresentados utilizando as bibliotecas Matplotlib e Seaborn.

O treinamento e validação da rede teve a entrada de 180 imagens de treino divididas em 108 classe 0 Sem Estresse hídrico e 72 em classe 1 Com Estresse hídrico com 42 separadas para teste sendo 21 classe 0 e 21 classe 1 conforme totalizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de imagens utilizadas no treinamento e teste Keras - TensorFlow

	Quantidade de imagens		
Imagens	Treino	Teste	Total
Todas	180	42	222
classe 0 Sem Estresse hídrico	108	21	129
classe 1 Com Estresse hídrico	72	21	93

Fonte: autoria própria (2023).*

Embora a configuração de treinamento tenha melhor desempenho com a utilização de processamento utilizando GPU a rede foi processada utilizando CPU por não possuir uma placa de vídeo e por ser utilizada em um computador não exclusivo para o treinamento da rede neural, os sistemas, e pacotes utilizados no treinamento estão listados na Tabela 2 discriminados com suas respectivas versões.

Tabela 2 – Equipamentos sistemas e pacotes utilizados no treinamento utilizando Keras e TensorFlow.

Equipamento*	
Placa Mãe	ASUS
Memória Física RAM	8 GB
Processador	Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz (8 CPUs), ~3.6GHz
Placa de Video.	NVIDIA GeForce 210
DirectX Version	DirectX 12
Sistema Operacional	Windows 10 Pro 64-bit (10.0, Build 19045)
Python	3.12
Keras	2.12.0rc0
Keras-Applications	1.0.8
Keras-Preprocessing	1.1.2
Matplotlib	3.7.0
OpenCv-Python	4.7.0.68
Pandas	1.5.3
scikit-learn	1.2.1
Seaborn	0.12.2
Sklearn	0.0.post1
TensorFlow	2.12.0rc0
numpy	1.24.2

*Equipamento e suas características. **Pacotes e Versões.

Fonte: autoria própria (2022).

Após a configuração do computador foi definido os dois modelos de treinamento, sendo o Treino1 utilizando um modelo com camada convolucional, três camadas de *pooling* com os parâmetros discriminados na tabela 3 e também o segundo Treino 2 com arquitetura de modelo sequencial com apenas três camadas. conforme sugerido por(TANISHG GAUTAM, 2023).

Tabela 3 – Parâmetros utilizados no primeiro treinamento.

Treino 1		
Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d (Conv2D)	(None, 224, 224, 32)	896
max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 112, 112, 32)	0
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 112, 112, 32)	9248
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 56, 56, 32)	0
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 56, 56, 64)	18496
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 28, 28, 64)	0
dropout (Dropout)	(None, 28, 28, 64)	0
flatten (Flatten)	(None, 50176)	0
dense (Dense)	(None, 128)	6422656
dense_1 (Dense)	(None, 2)	258
Total params: 6,451,554		
Trainable params: 6,451,554		
Non-trainable params: 0		
Treino2		
Layer (type)	Output Shape	Param #
mobilenetv2_1.00_224 (Functional)	(None, 7, 7, 1280)	2257984
global_average_pooling2d (GlobalAveragePooling2D)	(None, 1280)	0
dropout_1 (Dropout)	(None, 1280)	0
dense_2 (Dense)	(None, 2)	2562
Total params: 2,260,546		
Trainable params: 2,562		
Non-trainable params: 2,257,984		

Fonte: autoria própria (2022).

Os treinamentos especificados é importante dizer que o Treino1 foi utilizado uma camada convolucional padrão e simplificada utilizando imagens dimensionadas em 224x224 com 32 filtros em comparação com o mobilnetv2 que possui uma arquitetura mais complexa e eficiente onde utiliza imagens dimensionadas a 7 x 7 após passar por convolução e pooling atingindo o total de 1280 filtros gerados.Optou-se pelo uso da rede Yolo. Os equipamentos sistemas e pacotes utilizados no treinamento utilizando Darknet e Yolo, estão listados na tabela 4.

Tabela 4 – Equipamento sistemas e pacotes utilizados no treinamento utilizando Darknet e Yolo.

Equipamento*	
Placa Mãe	ASUSTeK COMPUTER INC. H110M-K
Memória Física RAM	8,00 GB
Processador	Intel(R) Core(TM) i5-7400 CPU @ 3.00GHz, 3001 Mhz, 4 Núcleo(s), 4 Processador(es) Lógico(s)
Placa de Video.	NVIDIA GeForce GTX 1060 6GB
Sistemas e Pacotes**	
Sistema Operacional	Linux Ubuntu 18.04.6 LTS Release 18.04 codename: bionic.
Cuda nvcc:	NVIDIA (R) Cuda compilier driver 2005-2022 nvidia corporation built on wed_jun_8_16:49:14_PDT_2022 Cuda compilation tools, release 11.7.r11.7/compiler.31442593_0
Python	2.7.17
OpenCv	4.6.0.66
Rede	Darknet
Cuda-version	11070 (11070) , cuDNN: 8.5.0 GPU count : 1

*Equipamento e suas características. **Pacotes e Versões.

Fonte: autoria própria (2022).

Com o uso de processamento utilizando GPU foi utilizado um computador de uso doméstico e uma placa de vídeo GTX 1060 convencional com instalação e uso exclusivo para treino, a tabela 5 mostra a utilização de 240 imagens separadas em 80% para treinamento e 20% para teste. As classes Sem Estresse hídrico e Com Estresse hídrico foram divididas em partes iguais com 50% cada.

Tabela 5 – Quantidade de imagens utilizas para treinamento da rede utilizando Yolo

Quantidade de imagens			
Imagens	Treino	Teste	Total
Todas	192	48	240
Sem Estresse hídrico	96	24	120
Com Estresse hídrico	96	24	120

Fonte: autoria própria (2022).

A rede yolo v4 foi treinada em 4.000 épocas levando o tempo de 6 Horas utilizando 256000 imagens (Randomizadas) com as configurações *Steps* 19200 e 21600 *Max_Batches* 4000 *Width* e *Heigth* 256 em duas Classes .A Matriz de confusão gerada no conjunto de dados utilizada como métrica de analise, fazendo a comparação entre a classe prevista e a classe real.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O clima quente e temperado é característico da região onde foi conduzido o experimento, tendo a temperatura média diárias na casa de vegetação catalogadas e armazenada. A tabela 6 apresenta, na terceira coluna, a média geral durante o período, com temperatura apresentando variação entre 4 e 36 ºC, ficando dentro da média esperada para a região

indicada como sendo 20 ºC. A umidade relativa do ar ficou entre 20% e 95% com a temperatura da solução nutritiva com variação entre 7 e 39º C estando fora da faixa de segurança podendo provocar deficiência nutricional com baixa absorção de oxigênio quando a temperatura da solução nutritiva é superior a 30 ºC.

Foram apresentados o menor e o maior valor obtidos e também a média individual nos meses entre Junho a Setembro, tabela 6 considerando apenas os valores positivos, as temperaturas medidas ficaram abaixo aos experimentos de (ZANELLA et al., 2008) tendo conduzido seu seu experimento com temperatura média de 29.3 ºC no estado de Rondônia com temperaturas mais elevadas.

Ao comparar com cultivo hidropônico no estado de Minas Gerais no trabalho de (BOWL, 2019) que mediu bom desempenho no sistema NFT em temperatura média de 19.3 ºC, o que corrobora com a afirmação segundo (FAO 2014),que o cultivo hidropônico pode ser feito em condições climáticas adversas e temperaturas variadas sofrendo baixa influência devido ao cultivo ser em ambiente protegido assim como FERRAG (2021) que indicava os benefícios do uso de IOT para a agricultura 4.0 e monitoramento inteligente, também evidenciado no trabalho de (TIAN et al., 2021), indicando o eficiente uso de câmeras utilizando coleta de informações de forma não invasiva, bem como para (CROP, 2020), ao beneficiar o pequeno agricultor com tecnologias inovadoras, elas se tornam uma fonte geradora de renda, e não apenas uma fonte de subsistência. O monitoramento efetuado corrobora com o (HUEBBERS; BUYEL, 2021) , indicando que ao minimizar o manuseio evitou efeitos indesejados no crescimento do cultivar.

Tabela 6 – Apresentação dados coletados Módulo.

Sensores	Valores	junho	julho	agosto	setembro
Temperatura do ar (ºC)	Mínima	9	8	4	21
	Máxima	29	34	36	27
	Média	19,60±	21±	19,84±	25,68±
		4,69	6	6,15	2,07
Umidade do ar (%)	Mínima	44	29	20	63
	Máxima	95	95	95	94
	Média	80,85±	65±	70±	69,59±
		15.81	19	22	7,56
Temperatura Solução (ºC)	Mínima	11	9	7	20
	Máxima	26	28	39	24
	Média	19,28±	20,69±	19,25±	23,27±
		3,26	3,80	4,39	1,47
Condutividade Elétrica (µS)	Mínima	13	13	217	31
	Máxima	2196	2213	2753	2672
	Média	1461±	1510±	1145±	316±
		405	384	654	461

Fonte: Autoria própria (2023)

Houve diferença significativa entre os experimentos para as variáveis massa úmida (MU), número de folhas maior que 10 cm (NF10) e massa seca (MS), os experimentos com ausência de estresse hídrico obtiveram o maior número de folhas assim como valores

superiores na massa úmida e também na massa seca divergindo estatisticamente dos experimentos onde ocorreram o estresse hídrico controlado.

O estresse hídrico aplicado aos experimentos 1 e 2 não mostra diferença estatística entre si, mas demonstra diferir estatisticamente dos demais, remetendo ao o impacto negativo com o valor abaixo da média em todas variáveis observadas. A ausência do estresse hídrico aplicada aos experimentos 3 e 4 não mostra diferença estatística entre si, mas demonstra diferir estatisticamente dos demais demonstrando ter obtido as maiores médias em todas as variáveis observadas.

Considerando as variáveis massa úmida (MU), número de folhas maior que 10 cm (NF10) e massa seca (MS) na tabela 7 temos a comparação das médias divergente entre os demais houve diferença significativa nos resultados entre os tratamentos sem estresse hídrico e com estresse hídrico indicando uma diferença entre as médias de 45% para os valores de massa úmida (MU) e 29% nas médias do número de folhas maior que 10 Centímetros (NF10) e massa seca com diferença de 43%.

Tabela 7 – Valores médios e desvio padrão dos experimentos nas variáveis massa úmida (MU), Número de folhas maior que 10 cm (NF10), massa seca (MS).

Experimentos*	MU(g)	NF10	MS(g)
	108 ±	12 ±	6±
Com Estresse Hídrico Experimento 1	21b	2 c	1 d
	121 ±	12 ±	7±
Com Estresse Hídrico Experimento 2	8b	0bc	0 c
	222±	19 ±	13±
Sem Estresse Hídrico Experimento 3	16a	1a	1 a
	194±	15 ±	9±
Sem Estresse Hídrico Experimento 4	12 a	1 b	1 b

Letras minúsculas diferentes significam diferenças estatísticas entre os tratamentos, considerando teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2022).

As diferenças nos parâmetros, indicando a perda de massa e diminuição do número de folhas nos cultivares Crocantela e Veneranda, corroborando esse resultado, demonstrados na tabela 8.Temos a comparação entre o estudo (ZANELLA et al., 2008), que concluiu perdas significativas no cultivar Regina na ordem de 63% na massa úmida 33% no número de folhas e 55% na massa seca, evidenciando também os dados do cultivar LucyBrown que obteve a diferença de 20% na massa úmida e 21% na massa seca tendo a maior diferença no número de folhas com 29%.

Tabela 8 – Comparação estresse hídrico cultivar Regina e LucyBrown

cultivares	Regina 2000			Lucy Brown		
	MU(g)	NF10	MS(g)	MU(g)	NF10	MS(g)
Crocantela / Veneranda	18%	4%	8%	20%	29%	21%

Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados obtidos são ratificados por (MAROUELLI; BRAGA, 2016), ao indicar a importância de uma irrigação adequada para suprir a necessidade hídrica e obter um bom desenvolvimento tendo a alface baixa tolerância a falta de água por possuir alto teor de água, O cultivar Veneranda embora indicado como resistente a altas temperaturas diverge das temperaturas obtidas por (QUEIROZ et al., 2014).

Ao comparar dados no cultivo hidropônico em diferentes estações do ano e obter média de 238 gramas na massa úmida no inverno e médias inferiores com 98 gramas no verão em um ciclo entre 60 e 70 dias, mas tendo as médias similares as obtidas em nosso estudo e também com (SOUSA et al., 2018) mesmo em cultivo em solo no verão de Jataí em Goiás obteve o número de folhas de 21 e massa úmida de 225 gramas na mesma linha de estudo.

A partir da coleta de imagem disponibilizadas no DVR foi adquirido mais de 100 gigabytes entre imagem e filmagem do manejo, 5.818 fotos do processo de cultivo totalizando 17.3 GB e 30 GB em filmagem do estresse hídrico compondo.

- Fotos do último estágios de cultivo.
- Fotos e filmagem noturnas sem iluminação.
- Seis horas de filmagens do estresse hídrico não simulado.

A classificação utilizando *Keras* e *TensorFlow* se mostrou uma opção fácil e rápida de classificação e treinamento utilizando uma rede neural artificial simples de três camadas convolucionais com uma camada de *pooling* máximo, tendo uma camadas *dropout* adicionado após a terceira operação *maxpool* e assim sendo possível evitar *overfitting*.

A Tabela 9 mostra os resultados do treinamento onde o modelo atingiu um f1-score de 71% para a classe 0 sem estresse hídrico e 75% para a classe 1 com estresse hídrico e com a acurácia das classes em 73%. Após o treinamento o modelo foi testado no conjunto de validação com os dados não utilizados durante o treinamento, servindo para avaliar a capacidade do modelo de generalizar para dados não vistos anteriormente possibilitando assim identificar e prevenir o *overfiting* ou aprendendo padrões relevantes.

Tabela 9 – Dados treinamento Precisão e Recall utilizando Keras.

Classes	Precisão	Recall	F1-score	Suporte
Classe 0 - Sem Estresse hídrico	100%	56%	71%	108
Classe 1- Com Estresse hídrico	60%	100%	75%	72
Accuracy			73%	180
macro avg	80%	78%	73%	180
weighted avg	84%	73%	73%	180

Fonte: Autoria própria (2024).

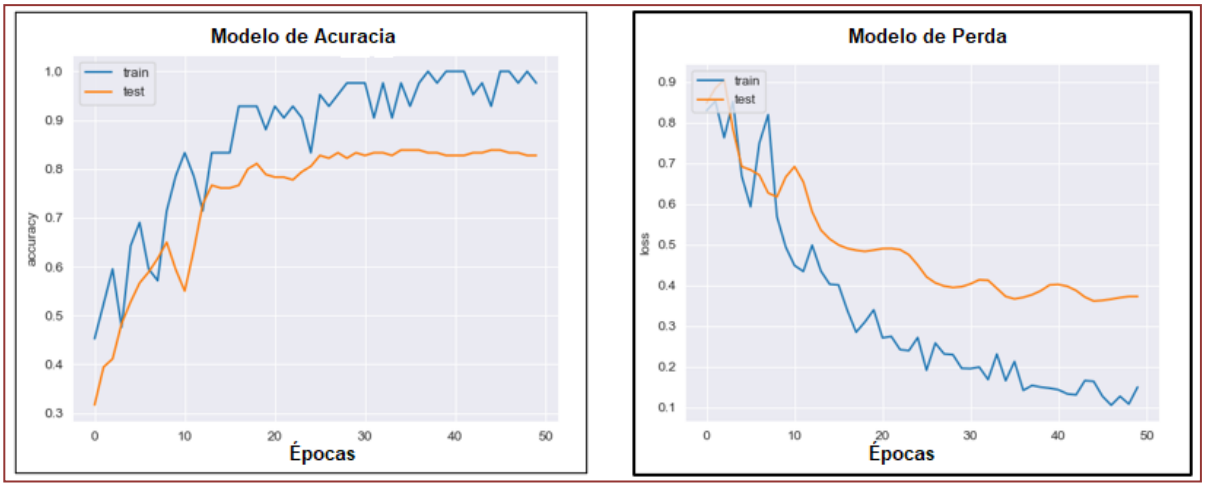
Com os dados apresentados em 73% é possível indicar que o modelo teve um baixo aprendizado, com os valores sendo pouco capaz de capturar os padrões e fazer previsões precisas, embora a pontuação de 75% de precisão no conjunto de validação da classe 1 com estresse hídrico seja relativamente menor ainda assim é alta, sugerindo, a não ocorrência de *overfiting* sendo capaz de generalizar bem para novos dados.

Embora a diferença do desempenho entre o treinamento e validação 73% indicar de forma positiva a não ocorrência de *overfiting,* no entanto indicou possíveis refinamentos na melhora de sua capacidade de generalização. A fim de um possível refinamento o Modelo foi reconfigurado para obter um aprendizado por transferência tendo a função GlobalAveragePooling2D para conversão dos recursos em um único vetor por imagem, com camadas de *dropout* de 0.2 e camada densa final com utilização de 2 neurônios e ativação softmax.

A precisão do modelo é mostrado na figura 5 onde o treino chega a 100% em alguns momentos mas conclui com 98%, com o teste sendo concluído com 84% também em 50 épocas de treino.

As perdas de treinamento e validação mostradas indicam o declínio do treinamento de perda iniciando em mais de 80% e terminando em menos de 18% acompanhado pela perda de validação que teve o mesmo início, porém terminando em 37% em 50 épocas.

Figura 4 – Dados treinamento Precisão e Perda utilizando Keras com Global Average Pooling



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados após o treinamento e validação são apresentados na tabela 10 indicando precisão de 98% para reconhecimento da classe zero que corresponde a imagens sem estresse hídrico e 71% de precisão na classe 1 com estresse hídrico com f1-score de 84% para a classe 0 e 82% para a classe 1 concluindo com precisão média de 83% totalizadas em 108 imagens do treinamento.

Tabela 10 – Resultado Keras

Classes	Precisão	Recall	F1-Score	Suporte
Classe 0 - Sem Estresse hídrico	98%	73%	84%	108
Classe 1- Com Estresse hídrico	71%	97%	82%	72
Accuracy			83%	180
macro avg	84%	85%	83%	180
weighted avg	87%	83%	83%	180

Fonte: Autoria própria (2024).

Com os resultados obtidos o modelo foi submetidos a validação em um conjunto de 10 imagens por classe validando a acurácia medida no modelo com assertividade informada conforme tabela 11..

Tabela 11 – Tabela de validação de Acurácia.

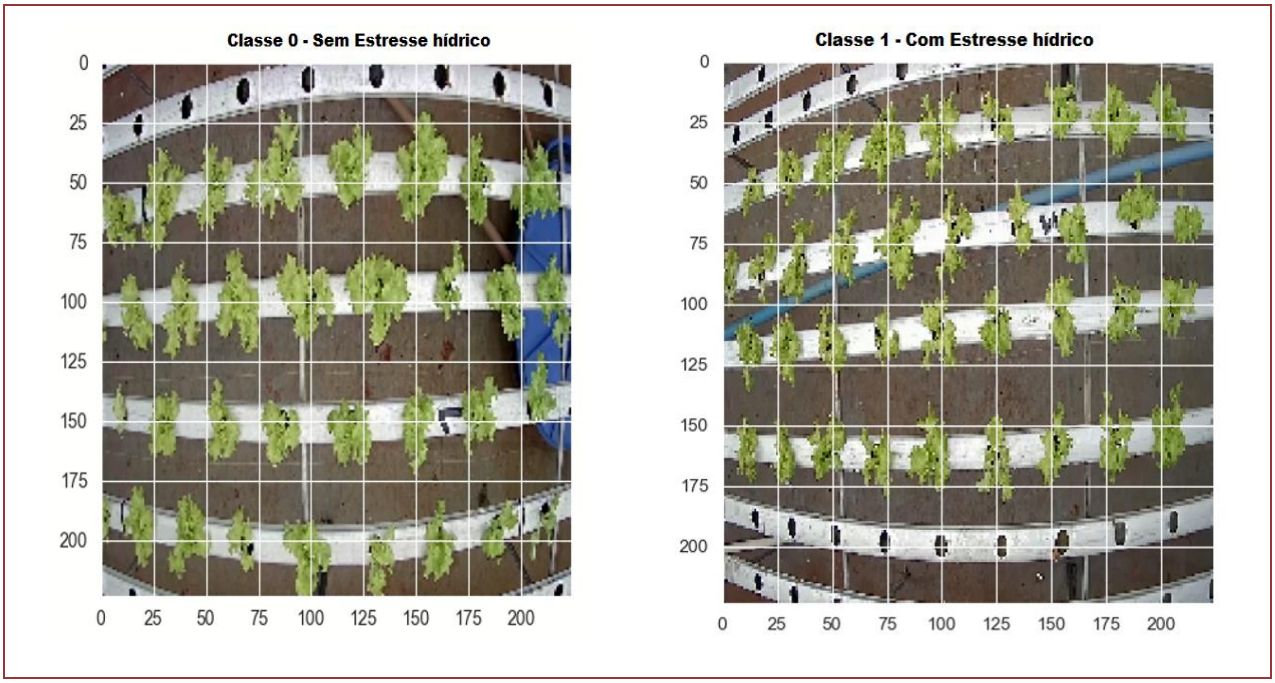
Validação da Acurácia			
Classes*	Quantidade Imagens	Quantidade Acertos	Porcentagem Acerto
Classe 0 - Sem Estresse hídrico	10	8	80%
Classe 1- Com Estresse hídrico	10	9	90%

*Imagens não utilizadas no treinamento ou validação

Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 07 é possível observar o reconhecimento. Realizamos o teste de classificação, indicando a classificação de uma imagem com estresse hídrico devidamente categorizada. Além disso, apresentamos uma imagem sem estresse hídrico também corretamente classificada.

Figura 7 – Classificação das classes de classificação.



Fonte: Autoria própria (2022).

Re-treinar a rede utilizando mobilnet e GlobalAveragePooling2D obteve uma melhora de 10% no modelo onde os dados corroboram com o experimento de (TANISHG GAUTAM, 2023), onde utilizando a rede keras para classificação em outro segmento, obtendo uma melhora de 8% ao optar por utilizar mobilenet e GlobalAveragePooling2D representaram uma diferença de 2% superior ao trabalho de conforme mostrado na tabela 12.

Tabela 12 – Comparação de treinamentos com outros trabalhos

Dataset	Treino	Precisão	Recall	F1Score	Acurácia
Football Acurácia 8% Diferença	SEM AVERAGE	80%	87%	83%	83%
		86%	79%	82%	
	MOBILENET	89%	94%	92%	91%
		94%	88%	91%	
Alface Acurácia 10% Diferença	SEM AVERAGE	100%	56%	71%	73%
		60%	100%	75%	
	MOBILENET	98%	73%	84%	83%
		71%	97%	82%	

Fonte: Autoria própria (2024).

O uso do Keras juntamente com o ecossistema TensorFlow se mostrou robusto e eficiente na identificação dentro do modelo e dados apresentados, sendo uma opção viável e competitiva, possui um grande facilitador em imagens de única classe, necessitando um aprofundamento maior em sua utilização, aplicação e integração, sua superiodade nos testes utilizando mobilenet e GlobalAveragePooling2D.

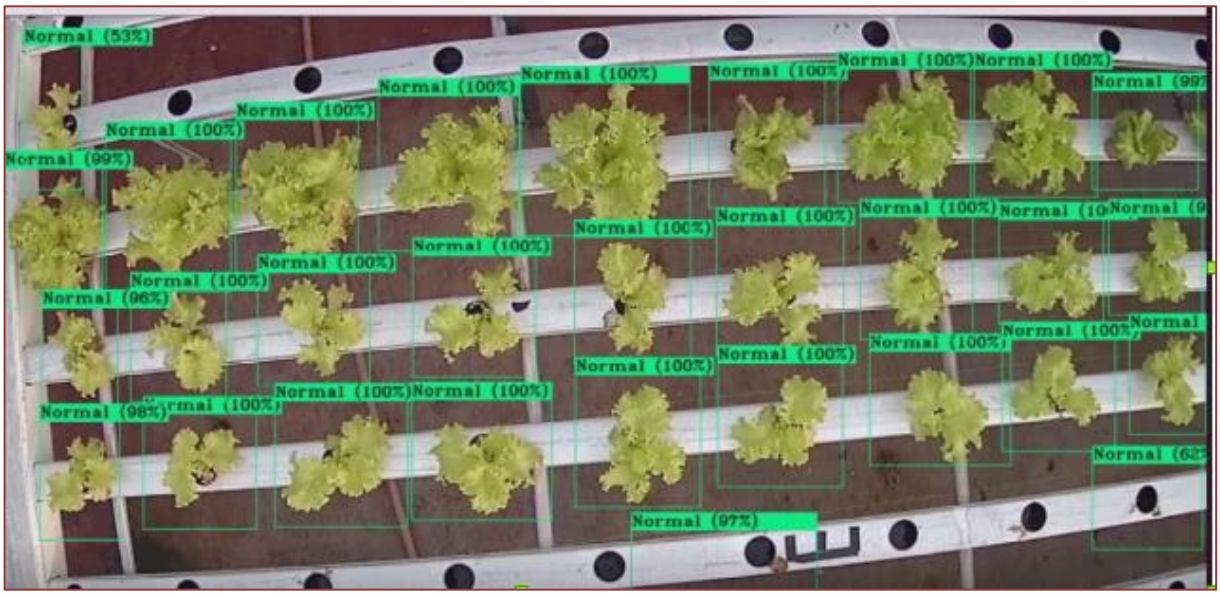
Foi utilizado o programa LabelImg para gerar o arquivo a ser utilizado pela rede Yolo para identificar onde exatamente está localizado nas fotos cada classe a ser treinada. As imagens disponibilizadas para treinamento da rede contém diversas vezes o cultivar, necessitando ser marcada cada uma classificando em com estresse e sem estresse, na Figura 8 mostra o início da marcação que é feita em todas as plantas.

Figura 8 – Classificação das imagens

Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 9 mostra a anomalia em uma detecção na última linha do perfil classificando perfil vazio como sem estresse. O erro não foi da rede neural, mas de uma marcação incorreta que ensinou a rede que espaços vazios deveriam ser classificados como sem estresse sendo difícil a detecção. Para a solução foi preciso revisar todas as fotos, identificar e remover, ou alterar a marcação errada, de forma que a rede possa ser ensinada corretamente.

Figura 9 – Erro na marcação

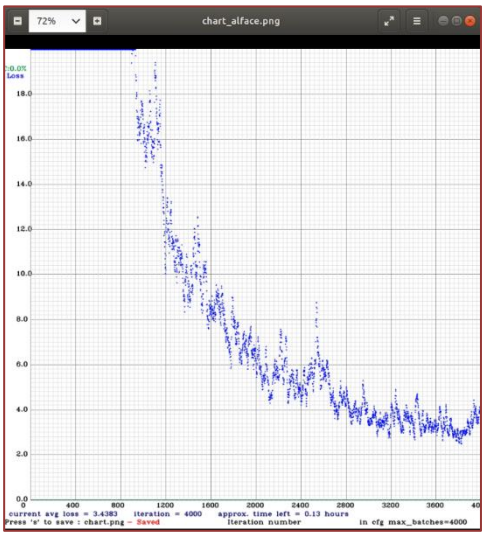


Fonte: Autoria própria (2022).

No início dos experimentos as marcações foram adicionadas de forma automática, reutilizando a mesma marcação para todas as imagens o que acabou viciando a rede fazendo com que os números aparentemente promissores, não reconhecesse de forma eficiente ao utilizar o arquivo de peso, sendo mais eficiente diminuir o *dataset* de 600 para 240 imagens e efetuar novas marcações na mesma base de imagem com resultados positivos.

A figura 10 mostra a curva de erros do treinamento em 4000 épocas sendo concluída com média de perdas em 34% e com o mínimo de erro em 23%.

Figura 10 – Treinamento da rede Yolo V4



Fonte: Autoria própria (2023).

O Treinamento foi concluído com os resultados apresentado na Tabela 13 tendo atingido a média de precisão AP = 99.55% para a classe 0 sob condições de estresse hídrico apresentando 673 verdadeiro positivo TP E 11 falso positivo FP, a classe 1 sob ausência de estresse hídrico com média de precisão AP = 96.81% e com 592 verdadeiro positivo e 10 Falso positivo com uma média de intersecção de posição Iou em 82.23% com F1-Score em 98.18%

Tabela 13 – Resultado Yolo V4 Média de precisão (AP) , Verdadeiro Positivo (TP) , Falso Positivo (FP)

Classes *	AP	TP	FP
Classe 0 - Sem Estresse hídrico	99.55%	673	11
Classe 1- Com Estresse hídrico	96.81%	592	10

*Valores de F1-Score 0.98%, Average Iou 82.23% e mAp 98.18%.

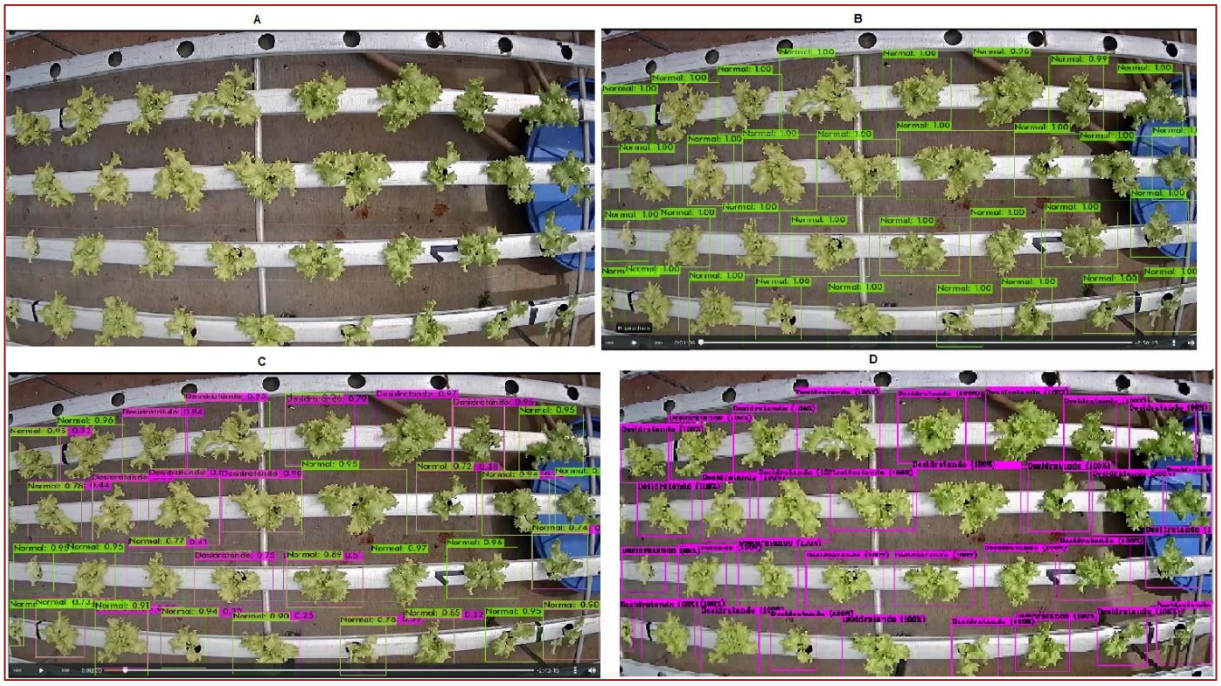
Fonte: Autoria própria (2023).

O valor de mAp obtido de 98.18% ficou abaixo do valor no modelo de detecção proposto por (Du et al., 2020) que apresentou média superior a 99.82% de acurácia na detecção de características da alface utilizando yolov3, ficando abaixo também da média encontrada por (ZHANG; LI, 2022) que conseguiu atingir um mAP de 98.75% ao utilizar YoloXs na detecção de estágios de crescimento da alface. Em comparação coma publicação de (LI et al., 2021b) utilizando Faster RCNN melhorado na detecção de mudas de alface hidropônica atingiu média superior da acurácia de 83.20% atingida no trabalho**.**

O resultado da detecção Figura 11 Mostra na imagem a sequência de quatro imagens em um intervalo de dez minutos onde ocorre a interrupção dos nutrientes, onde as imagens A , B sendo estão no primeiro minuto a foto A indica a imagem sem a detecção das classes pela rede neural, e a imagem B todos os cultivarem estão com a caixa de marcação verde indicando a classe 0 sem estresse, após sete minutos do vídeo na imagem C a rede neural mostra as primeiras identificações da classe 1 com estresse e após o minuto dez a imagem D com a rede neural indicando que todos os cultivares da imagem estão com estresse.

O reconhecimento do estresse hídrico foi possível utilizando fotos, vídeos e também em monitoramento online de vídeos, o número de imagens no treinamento foi suficiente para o bom reconhecimento.

Figura 11 – Detecção Yolo V4



Fonte: Autoria própria (2023).

Os frameworks e redes neurais utilizados para o treinamento e validação mostraram ser eficientes e capazes de efetuar o reconhecimento do estresse hídrico e também da ausência do estresse hídrica proposta no trabalho, porém os valores atingidos de média de acurácia de 98% do Yolo e 83% com a rede keras não demonstram uma comparação justa entre as duas tecnologias, visto que o ambiente de teste utilizado diverge amplamente como mostrado na tabela 14 e os dados obtidos atingiram média superior ao trabalho de (RIOS, 2022),ao comparar a YoloV3 e especificamente o mobileNet em configurações similares atingindo um desempenho equilibrado com diferença mínima de 1%.

Tabela 14 – Comparativo Framework e Rede Neural

Tipo de tecnologia	FrameWork e Rede Neural	
	TensorFlow e Keras	Yolo e Darknet
Tipo de tecnologia	CPU	GPU
Tempo de treino	10 Minutos	6 Horas
Média de Acurácia	83%	98%
Marcação na imagem	Não Marcado	Marcação com LabelImg
Instalação	Simples	Média
Instalação Pacotes	Média	Media

Fonte: Autoria própria (2023).

Embora tenham os testes efetuados em frameworks distintos podemos TensorFlow com Keras, sua facilidade na instalação e configuração permitiu um com a prototipação do modelo, podendo a partir da separação das imagens em suas pastas de treino e teste um

início imediato, sendo uma opção extremamente rápida no treino. Importante lembrar que o modelo não atende a identificação individual do cultivar, mas da bancada de hidroponia.

Darknet com Yolo, embora não tenha sido fácil a total configuração do ambiente de teste, e exigir marcação individual do cultivar indicando cada classe presente em cada imagem, mesmo o maior tempo de treino, ao final corroborou porque é considerada o estado da arte em detecção. Com a comprovação do modelo, sendo capaz de efetuar a detecção do estresse hídrico, e já possuindo uma estrutura de câmeras e monitoramento do cultivar, atualmente apenas na obtenção das imagens, possibilita em trabalhos futuros em tempo real obter a detecção classificação e predição auxiliando na tomada de decisão ou até possibilitando a tomada de decisão.

4. CONCLUSÕES

Levando em consideração os resultados obtidos esta dissertação, o desenvolvimento de manejo do alface em hidroponia por rede neural artificial convolucional mostrou-se robusta e eficiente onde o aproveitamento das tecnologias aplicadas e artefatos irão contribuir para o conhecimento cientifico, e garantindo maior eficiência ao produtor hidropônico, servindo de base para trabalhos futuros em automação e reconhecimento de padrões no cultivo. Embora este trabalho tenha fornecido uma solução para o uso de redes neurais e possível estendê-lo com novas possibilidades para pesquisas futuras que possam aprimorar nosso entendimento no campo de processamento digital de imagem. Um dos caminhos para futuras pesquisas é investigar mais a fundo as necessidades de aplicações em reconhecimento de doença ou mesmo em relação a saúde vegetal verificando as possíveis anomalias a serem reconhecidas, e até mesmo classificação das diferentes espécies de alface.

REFERÊNCIAS

[1] BOOK, D. L. **Data Science Academy. Deep Learning Book**. Disponível em: <https://www.deeplearningbook.com.br>. Acesso em: 16 jul. 2023.

[2] BOWL, S. Desempenho de diferentes cultivares de alface em sistema hidropônico. p. 6–9, 2019.

[3] CROP, I. Agriculture 4.0. v. 24, 2020.

[4] ESGUERRA, E.; RAPUSAS, R.; ROLLE, R. S. Post- Harvest Management of Papaya To Ensure Quality and Safety. 2020.

[5] FAO. **Small-scale aquaponic food production**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014.

[6] FAO. **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

[7] FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

[8] JANOSIK, S. M. A Água: distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase no arroz irrigado. **NASPA Journal**, v. 42, n. 4, p. 1, 2008.

[9] LI, Y. et al. Identification of Weeds Based on Hyperspectral Imaging and Machine Learning. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, n. January, p. 1–13, 25 jan. 2021a.

[10] LI, Z. et al. A high-precision detection method of hydroponic lettuce seedlings status based on improved Faster RCNN. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 182, n. October 2020, 2021b.

[11] LUNA, R. G. DE et al. AGRIVITA Tomato Growth Stage Monitoring for Smart Farm Using Deep Transfer Learning with Machine Learning-based Maturity Grading. v. 42, n. 1, p. 24–36, 2020.

[12] MAGALHÃES, L. P. Leonardo_Pinto_de_Magalhaes_versao_revisada. 2018.

[13] MAROUELLI, W. A.; BRAGA, M. B. Método prático do tato-aparência do solo para manejo de irrigação em hortaliças. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2016.

[14] NVIDIA. **NVIDIA Tesla V100 | NVIDIA**. Disponível em: <https://www.nvidia.com/de-de/data-center/tesla-v100/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

[15] RIOS, A. C. **COMPARAÇÃO DOS ALGORITMOS YOLOV3 E SSD PARA IDENTIFICAÇÃO DE OBJETOS EM IMAGENS**. Santa Maria: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2022.

[16] SAS. **Redes Neurais O que são e qual sua importância ? História das redes neurais Qual a importância das redes neurais ? Tipos de redes neurais**. Disponível em: <https://www.sas.com/en_sa/insights/analytics/neural-networks.html>.

[17] STORY, D.; KACIRA, M. Automated machine vision guided plant monitoring system for greenhouse crop diagnostics. **Acta Horticulturae**, v. 1037, p. 635–641, 2014.

[18] TANISHG GAUTAM. **Create You Own Image Classification Model Using Python ad Keras**. Disponível em: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2020/10/create-image-classification-model-python-keras/>. Acesso em: 8 jul. 2023.

[19] TIAN, Y. Artificial Intelligence Image Recognition Method Based on Convolutional Neural Network Algorithm. **IEEE Access**, v. 8, p. 125731–125744, 2020.

[20] ZANELLA, F. et al. Crescimento de alface hidropônica sob diferentes intervalos de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 366–370, 2008.

[21] ZHANG, P.; LI, D. CBAM + ASFF-YOLOXs: An improved YOLOXs for guiding agronomic operation based on the identification of key growth stages of lettuce. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 203, n. November, 2022.

Capítulo 3

Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos de um latossolo e componentes de produção da cultura do milho em áreas com e sem aplicação de Microgeo® no Cerrado

Paulino Taveira de Souza
Rafael Montanari
Nilton Eugénio Mário
Maria Júlia Betiolo Troleis
Rayner Sversut Barbieri

Resumo: A agricultura de precisão, através da geoestatística, permite conhecer as variabilidades do solo, tornando possível identificar, nas áreas cultivadas, as zonas com restrições físicas, químicas e biológicas. Com o Intenso uso do solo para agricultura problemáticas como a compactação e a falta de vida no solo podem prejudicar a produtividade agrícola, o adubo biológico Microgeo® surge como uma opção de manejo. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos de um LATOSSOLO e componentes de produção da cultura do milho segunda safra, além de conhecer entre os dois tratamentos qual proporcionou melhor qualidade do solo com ou sem aplicação do adubo biológico Microgeo®. O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Terezinha, localizada em Jataí, Goiás, Brasil. O solo da área é um LATOSSOLO Vermelho. A área foi dividida quanto à aplicação do adubo biológico Microgeo®, na presença ou ausência. Foram realizados 50 pontos amostrais em cada área compondo a malha geostatistica. Foram analisados os seguintes atributos do solo: areia, silte, argila, matéria orgânica (M.O)., fósforo (P), potencial hidrogeniônico (pH), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração total do solo (RBS), coeficiente metabólico (qCO2), altura de planta (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTE), número de grãos por espiga (NGE), massa de cem grãos (MCG), massa de espiga (ME) e comprimento da espiga (CE). De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que a melhor qualidade biólogica e química do solo foi observada para a área sem aplicação de Microgeo®; a área com aplicação de Microgeo® apresenta maior homogeneidade espacial dos atributos do solo em comparação a área sem aplicação; a área sem aplicação de Microgeo® possui maior teor de argila com média variando entre 322 e 385 g kg-1; a produtividade de grãos foi superior em áreas com Microgeo®; para futuras intervenções de manejo específico do solo nas áreas deve-se: para a área com aplicação de Microgeo® utilizar alcances variando entre 91 e 189 m. Enquanto para área sem aplicação de Microgeo® os alcances variaram entre 61 e 179 m.

Palavras-chave: geoestatística, adubo biológico, Zea mays L., agricultura de precisão.

1. INTRODUÇÃO

Pertencente à família Poaceae e gênero *Zea*, o milho (*Zea mays* L.) é originário do continente americano, e está entre as culturas mais antigas do mundo. Com importância mundial, o milho é o principal componente energético na suplementação de animais e um dos principais insumos que compõe o complexo agroindustrial (QUADROS *et al*., 2014; FOSTER *et al*., 2016).

Nos levantamentos realizados por USDA, referente à safra 2020/21, a produção de grãos de milho no mundo é de aproximadamente 1,1 bilhões de toneladas. Os detentores das maiores produções deste cereal são Estados Unidos da América, China, Brasil, União Europeia e Argentina com produção de 358, 260, 86, 64 e 50 milhões de toneladas respectivamente (USDA, 2021).

O uso dos solos de forma contínua para a produção de grãos, como o milho, e o interesse em incrementar produtividade tem levado ao uso de práticas intensivas de manejo, como uso de máquinas cada vez maiores representando avanço tecnológico no campo. No entanto, embora traga inúmeros benefícios para atender as demandas nas janelas de cultivo, o intenso tráfego de máquinas na área transfere em condições inadequadas modifica a estrutura, resultando no aumento da densidade destes solos (GIRARDELLO *et al.,* 2014).

Em decorrência da modernização da agricultura nas últimas décadas e da importância deste cereal na agricultura nacional e internacional, surge a preocupação com o adequado manejo do solo em grandes áreas de produção. Sabe-se que a qualidade do solo é fortemente influenciada pelos atributos físicos, químicos e biológicos; desta forma, estudos que busquem esclarecer relações desses atributos com os componentes produtivos da cultura são de fundamental importância quanto às práticas de manejo do solo (MONTANARI *et al.,* 2015). Para tal, é necessário levar em consideração a grande variabilidade existente nos atributos do solo dentro de uma mesma área agrícola.

Em áreas com cultivo convencional por muitos anos, a presença de microrganismos variados nichos de microrganismos benéficos é menos abundante. Buscando a reestruturação biológica destes solos, consequentemente a microbiota, existe alguns produtos comerciais que podem ser utilizados para tal fim, como o adubo biológico Microgeo®. O adubo Microgeo® é um produto composto por um "pool" de microrganismos que, na presença de nutrientes e substrato adequados, estimulam a atividade biológica regulando a produção do adubo biológico na forma de Bio-fábrica. Aumentando-se a biomassa microbiana haverá a reestruturação biológica e física do solo, e por consequência, uma maior capacidade produtiva e saúde da monocultura (BELLINI; SCHIMIDT FILHO; MORESKI, 2012).

Por sua vez, determinar a variabilidade destes atributos no solo não é questão simples, pois estes se constituem de uma complexa interação de fatores pedogenéticos e heterogeneidade do seu material de origem. Além disso, há influência do clima, relevo e manejo antrópico, resultando assim na variabilidade espacial de seus atributos (MATIAS *et al.,* 2015). O manejo no local específico é o princípio da agricultura de precisão (AP) e tem como objetivo de aumentar a eficiência do processo produtivo por meio de técnicas agrícolas conforme a variabilidade espacial dos atributos do solo (GIRARDELLO *et al.,* 2014).

Por meio da agricultura de precisão tem-se o conhecimento destas variabilidades no solo, tornando possível identificar, nas áreas cultivadas, as zonas com restrições físicas,

químicas e biológicas. (MATIAS *et al.,* 2015). A AP permite ainda planejar atividades de recuperação e até mesmo aplicação de insumos agrícolas de acordo com a necessidade do solo, no local e quantidade adequados (ZANÃO JUNIOR *et al.,* 2010). Esta variabilidade espacial e temporal pode ser estudada aplicando-se os princípios da geoestatística as quais permitem identificar áreas deficientes de insumos que podem limitar a produção agrícola (MARASCA *et al.,* 2011; MATIAS *et al.,* 2015).

A análise quantitativa do solo usando a geoestatística tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial da disponibilidade de nutrientes para as plantas na lavoura (MOLIN *et al.,* 2010), e seu uso é essencial para descrever e quantificar os fatores limitantes a obtenção de altas produtividades nos sistemas produtivos (VIEIRA *et al.,* 2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo modelar a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos de um LATOSSOLO e componentes de produção do milho cultivado no Cerrado, com ou sem a aplicação do adubo biológico Microgeo® e conhecer o que proporcionou melhor qualidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Terezinha, localizada no município Jataí, Goiás, nas coordenadas geográficas -17.9020364, -51.8135190 e altitude média de 708 m. O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO (DEMATÊ, 1980 atualizado por SANTOS et. al., 2018). A área onde foi conduzido experimento vem sendo cultivada em sucessão soja/milho desde 1989, sendo que desde 1999 vem se adotando práticas de semeadura direta e mínimo revolvimento do solo.

A área analisada foi dívida e classificada em duas partes sendo uma acima da estrada e outra a baixo da estrada que corta o talhão principal ilustrados na imagem abaixo. Ao longo dos anos ambos talhões receberam as mesmas práticas de adubação e manutenção sendo que o a diferença veio com a aplicação do produto Microgeo® no talhão acima da estrada (Talhão A), enquanto que o talhão abaixo da estrada (Talhão B) ficou como "testemunha" para o produto. Dessa forma para compor a malha geoestatística foram coletados e georreferenciados 50 pontos acima da estrada (Talhão A) e 50 pontos abaixo da estrada

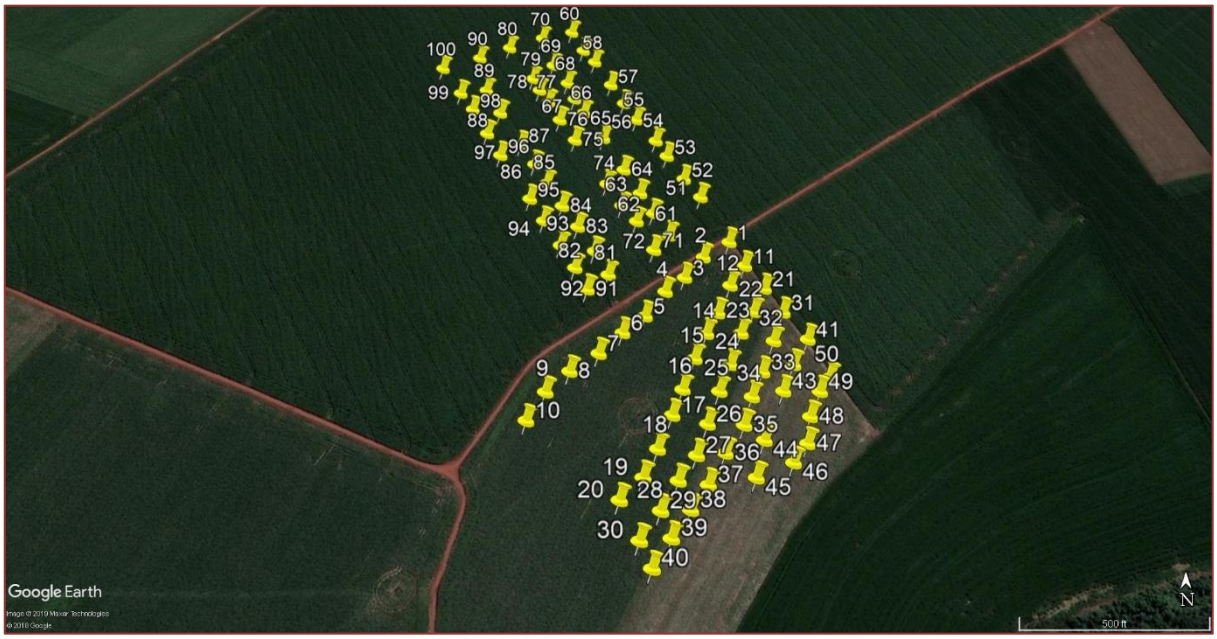
O talhão B localizado abaixo da estrada apresenta declividade mais acentuada finalizando próximo de uma mata, essa declividade acentuada pode ser notada durante as coletas, bem como a deposição de solo proveniente do escorrimento superficial.

As 5 safras precedentes as coletas no talhão A foram feitas aplicações com o adubo biológico Microgeo® (300L/ha) sendo 150L em soja (30 dias após plantio) e 150L em Milho 15 dias após plantio, sendo aplicado via barra com pulverizador. O espaçamento adotado no cultivo de milho segunda safra foi de 0,45 m fechando estande final de 49 mil plantas. Já o talhão B não recebeu aplicações do adubo biológico Microgeo® porém recebeu todas as práticas de adubação e correção do talhão A, a semeadura adotada no talhão B foi de 90 cm fechando estande final de 44 mil plantas ambos talhões com o material LG3055® pro2, a diferença de espaçamento foi uma estratégia adotada pelo produtor para melhor aproveitamento da área. As coletas foram realizadas com a cultura do milho já instalada próximo a data de colheita garantido assim ponto de maturação fisiológico da cultura.

Figura 1 – Localização e caracterização da área em estudo.

Na figura 1 é possível observar área em estudo, onde a seta em amarelo localizada no talhão B (abaixo da estrada) evidencia o sentido do declive acentuado do terreno, já na figura 2 estão evidenciados os pontos amostrais que compõem a malha estatística sendo o Talhão A acima da estrada e Talhão B abaixo da estrada.

Figura 2 - Malha amostral utilizada para a avaliação dos atributos de solo e plantas.



Foram realizadas análises dos atributos físicos e químicos do solo, com a cultura do milho segunda safra ainda instalada na área, as coletas foram realizadas durante o mês de julho com o milho já em ponto de colheita. Em todos os pontos da malha foram coletadas

amostras de estrutura deformada e indeformadas, para determinação dos atributos químicos e físicos do solo nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m, além de amostras para a determinação de umidade gravimétrica.

As amostras de solo foram coletadas com trado holandês e utilizadas para determinar pelo método da resina o teor de fósforo disponível (P) mg dm^{-3}, potencial hidrogeniônico (pH) $CaCl_2$ e teor de matéria orgânica (MO) g dm^{-3} conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001). Para determinação dos teores de Areia, Silte e Argila, foi utilizado o método da pipeta (TEIXEIRA et al., 2017).

O solo coletado na primeira camada foi utilizado para as avaliações biológicas. Para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana foi utilizado o método da EMBRAPA (2012). O cálculo da concentração de carbono foi obtido através da equação encontrada, onde:

$$\mathbf{C\ (mg\ L^{-1})} = ((\text{Absorb.} - a)/b)*(V/P)*F$$

Já o cálculo para encontrar o carbono da biomassa microbiana do solo foi obtido através da seguinte equação, com fator de correção Kc=0,33.:

CBMs = (C(amostras fumigadas)-C(amostras não fumigadas))/0,33.

A respirometria (C-CO_2) foi conduzida junto com a análise do carbono da biomassa microbiana (CBM), determinada pela quantidade de CO_2 liberado do solo não fumigado, durante sete dias de incubação. Os dados da respirometria foram expressos em mg C-CO_2 kg de $solo^{-1}$. O qCO_2 foi estimado pela razão entre C-CO_2 liberado e o CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1993), sendo expresso em (mg C-CO_2 mg C-BM^{-1} kg^{-1} h^{-1}) .103, à partir das expressões (4) e (5) a seguir:

$$\mathbf{qCO2} = RM/CBM(4)$$

$$\mathbf{C\text{-}CO_2\ liberado} = TRM/h(5)$$

onde: qCO_2= quociente metabólico (mg C-CO_2 . mg C-BM^{-1} kg^{-1} h^{-1}).103; TRM= taxa de respiração microbiana (mg C-CO_2 .kg de $solo^{-1}$); C-CO_2 liberado= atividade microbiana (mg C-CO_2 .kg de $solo^{-1}$ h^{-1}); h= horas de incubação para a determinação da respiração microbiana; CBM= carbono da biomassa microbiana (mg C-BM kg^{-1} de solo seco).

Para cada atributo do solo avaliado foi considerado após a abreviação os numerais 1, 2 e 3 sendo:

1 para primeira cama de profundidade (0-10cm), 2 para segunda cama de profundidade (10-20cm) e 3 para terceira cama de profundidade (20-30cm). E as letras minúsculas (c) e (s) representando respectivamente com e sem Microgeo®.

No final do ciclo do milho foram avaliados:

- Altura de planta (ALTP) e inserção de espiga (ALTE)

As dimensões de altura média de planta de milho foram medidas por uma régua graduada em centímetros, na distância compreendida entre o colo da planta até a inserção da folha bandeira para milho, conforme a descrição de (CHIODEROLI, 2010), em 5 plantas a cada ponto da malha.

A altura de inserção de 1ª espiga foi determinada pela medição, com régua graduada em centímetros, medindo a distância entre o colo da planta até a base da primeira espiga avaliada, para isto foram tomadas medidas de cinco plantas da área em torno do ponto da malha, na época da colheita.

- Número de grãos por espiga (NGRE), comprimento da espiga (CE), massa de 100 grãos (MCG) e massa da espiga (ME)

Nas mesmas plantas utilizadas para altura de planta e inserção de espigas, foram coletadas as espigas para realizar as medições de comprimento de espiga número de grãos por espiga, massa de 100 grãos e massa da espiga (CHIODEROLI, 2010).

Para avaliar a massa de 100 grãos, foram coletadas 5 espigas, após a debulha foram pesados os grãos e a massa de grãos foi corrigida para a base úmida de 13%, conforme a equação referente à Regras de Análise de Sementes:

$$\mathbf{P} = I \times (100-U)/(100-13)$$

Após transformar a massa dos grãos à base úmida de 13%, a produção de grãos foi transformada em kg ha^{-1}. Foi mensurado também o peso da espiga afim de contabilizar a diferença entre o tamanho da espiga e o peso dos grãos.

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica. Utilizando-se o SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997) foi calculados a média, mediana, moda, valores mínimo e máximo, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose e assimetria. A seguir, identificou-se os outliers (dados discrepantes), conforme identificação do gráfico de ramos e folhas, efetuando-se sua substituição pelo valor médio dos circunvizinhos. Também foi efetuada a análise da distribuição de frequência por meio do teste de Shapiro e Wilk (1965) com 5% probabilidade de erro.

A modelagem geoespacial foi realizada utilizando o programa GS+ 7.0 (GS+, 2004). A análise inicial dos dados demonstrará que para alguns atributos a tendência foi retirada, utilizando o método do refinamento da mediana destes atributos, conforme proposto por Silva et al. (2003):

$$\mathbf{NV} = VO - (ML + MC) + MG$$

onde: NV representou o novo valor residual do atributo do qual foi retirada a tendência; VO o valor original do atributo do qual foi retirada a tendência; ML e MC representam, respectivamente, os valores da mediana da linha e da coluna nas quais estava o atributo; MG representou a mediana geral dos atributos contidos na malha amostral.

Desta forma, pôde-se calcular novamente o semivariograma com os resíduos obtidos deste procedimento. O ajuste do semivariograma efetuado por meio da validação cruzada de acordo com Robertson (1998) possibilitou a determinação dos parâmetros de ajuste do semivariograma experimental: efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) e alcance (a). O grau de dependência espacial (GD) como também estudado por Montanari et al. (2010), onde valores $\leq$ 25% indicam grau de dependência espacial fraco, de 25% - 75% indicam grau de dependência espacial moderado e > 75% indicam grau de dependência espacial forte entre amostras (Equação 5).

$$GD = \left[\left(\frac{C_1}{C_0 + C_1}\right)\right] * 100$$

A técnica de *krigagem* foi utilizada para estimar valores nos locais não amostrados por ser um estimador linear não enviesado. Uma vez determinados os valores para os locais não amostrados com a ajuda da técnica de *krigagem*, foram construídos mapas de isolinhas utilizando-se o programa GS+ (ROBERTSON, 1998), que emprega os mesmos valores estimados por meio da técnica de *krigagem* para determinação e localização das isolinhas.

Desta maneira, os mapas representam linhas bem definidas e embasadas em um algoritmo de regressão linear, conforme descrito por Montanari et. al. (2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes produtivos do milho em área com ou sem o adubo biológico Microgeo® constam nas tabelas 1 e 2, respectivamente. Conforme Pimentel Gomes e Garcia (2002) o coeficiente de variação (CV) é utilizado para mensurar a variabilidade de um atributo, onde suas classes foram determinadas como baixa, média, alta e muito alta, sendo CV ≤10%, 10% < CV ≤ 20%, 20% < CV ≤ 30% e CV > 30%, nessa ordem.

É de grande relevância o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em uma determinada área para que seja possível o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental e sustentabilidade do sistema produtivo como um todo.

Diante disso, ao analisar os atributos físicos e químicos do solo em áreas com e sem a aplicação de Microgeo®. Pode-se inferir que os teores de areia (AREc) e silte (SILc) apresentaram maior homogeneidade na área com Microgeo®, com baixo coeficiente de variabilidade para as 3 camadas de profundidade (0-10 10-20 20-30) avaliadas assim, como pH, isso pode ser em parte atribuído a declividade do terreno. O pH e areia tendem a ter variação menor nos solos de maneira geral em comparação aos demais atributos como os atributos químicos do solo que são de um conjunto de relações entre solo-planta-ambiente, desde os processos de formação até seu manejo (CARNEIRO et al., 2016). Em contrapartida, o teor de argila (ARGc) apresentou variação alta para a primeira e terceira camada e muito alta para a segunda camada indicando certa heterogeneidade do solo quanto a este atributo.

Ainda na área com aplicação de Microgeo®, o teor de matéria orgânica na camada de 0-10 apresentou variabilidade média, e nas demais camadas, o coeficiente de variação ficou abaixo de 10%, conferindo homogeneidade do solo nestas camadas. Parte desta variação na primeira camada pode vir da aplicação do produto Microgeo® que apresentou influencia no crescimento da população microbiana que por sua vez pode refletir na decomposição e variação dos resíduos depositados sob o solo. Enquanto em solos sem aplicação, as três camadas de solo amostradas, apresentaram baixo coeficiente de variação para esta variável.

O teor de P disponível no solo, também foi quantificado nas diferentes camadas e apresentou, em áreas com e sem Microgeo® alta variabilidade dos dados. Ainda sobre a área sem aplicação do adubo biológico (Microgeo®), os dados apresentaram a mesma tendência na área, tanto para os teores de areia (AREs), como pH nas três camadas os quais apresentaram baixa variabilidade, evidenciando os resultados de literatura citados. Enquanto que, os teores de silte (SILs) e argila (ARGs) tiveram variação de alta a muita alta, conferindo uma heterogeneidade da área avaliada. Tais dados são similares aos observados por Neto et al. (2017), os quais estudaram os atributos físicos de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e observaram variabilidade muito alta para silte, média para argila, e baixa para areia.

A maior variabilidade encontrada na área sem Microgeo® para silte e argila pode estar relacionada com a declividade mais acentuada observada na área amostrada contribuindo assim para deposição do escorrimento superficial de outros talhões.

Quanto aos atributos biológicos do solo, coletados na camada superficial a variabilidade referente à análise descritiva foi alta para respiração basal do solo (RBSc), e muito alta para carbono da biomassa microbiana (CBMc) e quociente metabólico (qCO_2) em solo com a aplicação de Microgeo®.

Em áreas sem a aplicação de Microgeo®, o coeficiente de variação para respiração basal do solo foi de 14,48% enquadrando-se dentro da classe média, enquanto que o carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico, assim como em áreas com o produto biológico, apresentaram alta variação, com 52,38 e 41,46%, respectivamente.

Valores de RBS elevados podem indicar maior atividade da biomassa microbiana no solo. A atividade microbiana alta pode estar relacionada a rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas. Ou em alguns casos, pode ser indicativo de estresse sobre os microrganismos pela intervenção no solo, como trânsito de máquinas e implementos agrícolas durante o cultivo.

De maneira geral, áreas com menor intervenção apresentam maior atividade microbiana, como relatado no trabalho de Lisboa et al. (2012) onde a maior taxa de respiração foi observada em solo sob vegetação nativa e sob plantio direto, em comparação onde havia revolvimento de solo. Também observaram maiores valores de RBS, Guimarães et al. (2017) ao trabalhar em área de fragmento florestal quando comparada a área destinadas a agricultura e em pousio.

O CBM pode variar durante as épocas do ano. Este atributo pode aumentar com aportes de substratos e ou da quantidade, do tipo e do tempo em que a biomassa vegetal está aportada no solo. No início do processo de decomposição, pode haver tendência de maior imobilização de nutrientes na própria biomassa microbiana, pois a quantidade de nutrientes disponíveis no resíduo não é adequada em quantidade para a microbiota heterotrófica, o que implica imobilização e diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas (TEIXEIRA et al., 2009).

Assim, aumentos na biomassa microbiana são condicionantes de um incremento na ciclagem de nutrientes no solo provenientes da fitomassa. Após a decomposição da fitomassa, os nutrientes são liberados para o solo e a própria biomassa microbiana constitui-se em uma reserva lábil de nutrientes, pois devido ao baixo tempo de vida dos microrganismos estes rapidamente liberam os nutrientes para o solo (CARNEIRO et al., 2008).

O quociente metabólico do solo (qCO_2) representa a taxa de respiração liberada pela biomassa microbiana, ou seja, a quantidade de emissão de CO_2 por unidade de biomassa em um determinado tempo, e é conhecido como um indicador sensível às alterações no manejo dos sistemas. Foi possível notar valores menores na área com a utilização do Microgeo® em comparação a área sem o uso isso é reflexo de uma maior eficiência dos microrganismos estão gastando uma menor quantidade de energia no processo.

E por fim, as variáveis relacionadas à cultura do milho (ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE), em ambas as áreas – com e sem Microgeo®-, também apresentaram baixo coeficiente de variação demonstrando uma boa padronização de plantas e estabilidade do material utilizado.

Quanto a normalidade dos dados, de acordo com Lemos Filho et al. (2017) uma condição desejável é a normalidade dos dados para o ajuste dos semivariogramas pela metodologia da máxima verossimilhança, devido ao fato do ajuste do modelo de semivariograma por

essa metodologia não se basear nos pontos do semivariograma, mas sim, nas diferenças dos dados originais.

Alguns autores comentam que a normalidade não é uma exigência para a execução da análise geoestatística. No entanto, quando o pressuposto de normalidade é atendido, existe a possibilidade de uma qualidade melhor da predição para os valores não amostrados (YAMAMOTO, 2020).

Uma variável estatística que possui distribuição de frequência do tipo normal, deve adotar a média como medida de tendência central mais adequada para representá-la, em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média, caso seja do tipo lognormal (DALCHIAVON et al., 2017).

Dentre os atributos do solo que apresentaram distribuição de frequência do tipo normal foram RBSc; ARGc1; Moc3 e pHc2 para a área com aplicação de Microgeo® já para a área sem aplicação os atributos que apresentam normalidade foram RBSs; qCO2s; AREs1; AREs2; Mos1; Mos2; pHs1; Ps1 e Ps2. Portanto, as respectivas medidas de tendência central deverão ser representadas pelos valores médios. Assim como os atributos de planta: ALTPc; ALTEc; NGREc; Mec; CEc; ALTPs; ALTEs; NGREs e MCGs.

No entanto, assim como Dalchiavon et al. (2017) em estudo acerca dos atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO, também foram obtidos dados que não apresentaram distribuições simétricas, contudo, com coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero. Deste modo, possibilita ocorrer à avaliação da dependência espacial dos atributos, como os que foram apresentados na Tabela1 com aplicação de Microgeo® SILc1; SILc3; AREc3; pHc1 e pHc3 e os atributos Mos3; MEs e CEs na Tabela 2 sem a aplicação de Microgeo®, onde todos apresentam distribuição de frequência tendendo a normalidade.

Os demais atributos tanto na Tabela 1 como Tabela 2 apresentaram distribuição de frequência indeterminada, tendo em vista que pela probabilidade do teste de Shapiro-Wilk, os valores apresentaram-se não significativos a 5% de probabilidade, rejeitando-se a hipótese de nulidade H0 de normalidade.

Os resultados ideais para a estimação por krigagem é manifestada quando a normalidade dos dados é satisfeita (MONTANARI et., 2010). Por outro lado, como citado anteriormente não é uma exigência da geoestatística a normalidade de seus dados, sendo apropriado apenas que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, no qual poderia comprometer as estimativas da krigagem, que são baseadas nos valores médios (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Os atributos da malha geoestatistica com Microgeo® (Tabela 1) que apresentaram coeficientes de assimetria negativa foram a respiração basal do solo (RBSc); teor de silte nas três profundidades avaliadas (SILc1; SILc2 e SILc3); areia e matéria orgânica na segunda camada (AREc2 e Moc2) e também os parâmetros produtivos como número de grãos na espiga (NGEc); massa da espiga (MEc) e comprimento de espiga (CEc). Os demais atributos apresentaram coeficientes de assimetria positiva.

Tabela 1. Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos, químicos e biológicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroferrico e componentes biométricos e de produção de milho com aplicação de Microgeo®.

Medidas estatísticas descritivas											
				Valor			Coeficiente			Probabilidade do teste (b)	
Atributo (a)	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
CBMc	50	3,88	3,22	0,18	14,62	2,62	67,72	4,552	1,744	0,0001	IN
RBSc	50	30,64	30,87	10,20	47,70	7,92	25,85	0,434	-0,229	0,3585	NO
qCO2	50	14,37	9,12	1,59	140,86	21,11	146,91	27,350	4,859	0,0001	IN
ARGc1	50	104,26	100,63	58,42	172,19	26,40	25,325	-0,322	0,431	0,4139	NO
ARGc2	50	89,85	78,28	58,50	176,05	29,08	32,361	0,477	1,068	0,0001	IN
ARGc3	50	103,35	96,07	66,40	167,58	27,52	26,622	-0,325	0,738	0,0033	IN
SILc1	50	716,44	721,91	609,46	766,20	33,12	4,623	0,757	-0,774	0,0405	TN
SILc2	50	740,62	750,28	783,92	652,32	30,86	4,167	0,500	-1,187	0,0002	IN
SILc3	50	730,17	737,55	652,47	781,35	32,15	4,403	-0,594	-0,545	0,0424	TN
AREc1	50	179,30	177,55	155,96	269,94	16,67	9,300	17,477	3,308	0,0001	IN
AREc2	50	169,52	171,01	196,52	142,56	8,90	5,252	2,447	-0,279	0,0079	IN
AREc3	50	166,47	168,70	202,06	139,34	10,53	6,327	1,990	0,113	0,0263	TN
Moc1	50	28,92	27,00	23,00	44,00	5,06	17,741	0,787	1,270	0,0001	IN
Moc2	60	29,50	29,00	20,00	36,00	2,70	9,169	2,797	-0,074	0,0009	IN
Moc3	50	28,26	28,00	24,00	34,00	2,52	8,924	-0,337	0,481	0,0674	NO
pHc1	50	5,12	5,20	4,40	6,30	0,37	7,233	1,383	0,692	0,0201	TN
pHc2	50	5,25	5,20	4,60	6,00	0,29	0,085	0,028	0,319	0,3100	NO
pHc3	50	4,65	4,60	4,30	5,10	0,17	3,616	0,220	0,550	0,0291	TN
Pc1	50	58,36	54,50	30,00	159,00	25,97	44,506	3,471	1,569	0,0001	IN
Pc2	50	25,16	23,00	12,00	76,00	11,38	45,248	7,674	2,346	0,0001	IN
Pc3	50	10,62	8,00	5,00	32,00	5,53	52,094	5,339	2,157	0,0001	IN
ALTPc	50	1,97	1,97	1,78	2,14	0,10	4,904	-0,686	0,037	0,2505	NO
ALTEc	50	1,13	1,13	1,00	1,26	0,06	4,977	0,005	0,274	0,6092	NO
NGEc	50	48,47	48,40	43.8	52,80	2,05	4,222	-0,103	-0,022	0,4463	NO
MCGc	50	24,64	24,20	21,71	29,40	2,17	8,809	-0,796	0,533	0,0067	IN
MEc	50	153,60	151,83	114,78	179,58	13,91	9,057	-0,122	-0,171	0,5599	NO
CEc	50	19,79	19,90	18,40	20,61	0,51	2,582	-0,053	-0,598	0,1124	NO

(a)CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (c) com microgeo®; (b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Já os atributos da malha geoestatistica sem Microgeo® (Tabela 2) que apresentaram assimetria negativa foram RBSs; ARGs2; ARGs3; SILs1; AREs1e AREs2, bem como todos os atributos de planta ALTPs; ALTEs; NGREs; MCGs; MEs e CEs.

Tabela 2. Análise descritiva inicial de alguns atributos físicos químicos e biológicos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico e componentes biométricos e de produção do milho sem aplicações de Microgeo®

Medidas estatísticas descritivas											
				Valor			Coeficiente			Probabilidade do teste [b]	
Atributo [a]	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Variação (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
CBMs	**50**	1,79	1,51	0,72	5,20	0,94	52,38	3,682	1,787	0,0001	IN
RBSs	**50**	51,12	50,39	32,40	63,78	7,37	14,42	-0,037	-0,401	0,1788	NO
qCO2s	**50**	34,58	34,62	10,20	67,72	14,34	41,46	-0,382	0,397	0,2440	NO
ARGs1	**50**	331,27	324,13	138,23	562,81	129,30	39,032	-1,354	0,104	0,0005	IN
ARGs2	**50**	385,80	412,63	177,19	584,85	148,86	38,585	-1,612	-0,056	0,0001	IN
ARGs3	**50**	322,70	406,46	49,61	561,40	186,58	57,819	-1,530	-0,324	0,0001	IN
SILs1	**50**	470,62	466,31	249,19	653,51	131,90	28,026	-1,486	-0,055	0,0012	IN
SILs2	**50**	435,56	409,85	236,94	655,29	153,23	35,180	-1,636	0,087	0,0001	IN
SILs3	**50**	501,37	404,11	257,93	778,85	189,47	37,791	-1,559	0,307	0,0001	IN
AREs1	**50**	198,10	197,04	160,20	229,12	14,77	7,455	0,035	-0,118	0,9225	NO
AREs2	**50**	178,64	178,57	150,00	207,57	12,77	7,149	-0,275	-0,134	0,6715	NO
AREs3	**50**	181,79	179,65	158,86	231,48	12,44	6,845	4,059	1,408	0,0012	IN
Mos1	**50**	39,26	39,00	33,00	47,00	3,50	8,925	-0,633	0,171	0,3675	NO
Mos2	**50**	23,40	23,00	18,00	30,00	2,28	9,730	0,984	0,432	0,0796	NO
Mos3	**50**	26,80	27,00	24,00	30,00	1,59	5,935	-0,274	0,279	0,0165	TN
pHs1	**50**	6,01	6,00	5,20	7,50	0,42	7,022	1,919	0,722	0,0577	NO
pHs2	**50**	4,95	4,80	4,30	6,10	0,45	9,181	0,198	0,979	0,0006	IN
pHs3	**50**	4,61	4,60	4,20	5,60	0,24	5,176	4,810	1,333	0,0006	IN
Ps1	**50**	89,58	90,00	33,00	165,00	29,46	32,884	-0,015	0,503	0,3971	NO
Ps2	**50**	23,88	22,00	8,00	48,00	9,27	39,664	0,535	0,867	0,0930	NO
Ps3	**50**	10,34	8,00	4,00	24,00	4,61	44,581	0,686	1,213	0,0001	IN
ALTPs	**50**	2,52	2,52	2,36	2,66	0,06	2,494	0,004	-0,030	0,8985	NO
ALTEs	**50**	1,40	1,40	1,27	1,50	0,05	3,657	0,066	-0,199	0,2789	NO
NGREs	**50**	47,82	48,10	44,60	50,60	1,36	2,853	-0,483	-0,338	0,3120	NO
MCGs	**50**	27,19	26,95	24,48	30,10	1,46	5,359	-0,455	0,324	0,1072	NO
MEs	**50**	180,64	181,88	152,73	208,14	12,93	7,157	-0,058	-0,549	0,0445	TN
CEs	**50**	19,26	19,30	18,10	20,30	0,53	2,719	0,011	-0,635	0,0168	TN

(a)CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; (b) DF = distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O coeficiente de assimetria é utilizado para caracterizar como e quanto a distribuição de frequências se afasta da simetria, sendo que: se coeficiente de assimetria maior que zero se tem que a distribuição é assimétrica à direita (positiva): se coeficiente de assimetria menor que zero distribuição é assimétrica à esquerda (negativa): e se coeficiente de assimetria igual a zero a distribuição é simétrica (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010).

Em relação ao coeficiente de curtose, este é utilizado para caracterizar a forma da distribuição de frequências quanto ao seu achatamento. O termo médio de comparação é a distribuição normal que apresente valor de coeficiente de curtose igual a zero tem-se então a distribuição mesocúrtica, se coeficiente de curtose menor que zero a distribuição será platicúrtica, e se coeficiente de curtose maior que zero se tem a distribuição leptocúrtica. Os atributos da malha geostática com Microgeo® (Tabela 1) que apresentaram maior distribuição leptocúrtica foram: CBMc; qCO2; AREc1; AREc2; AREc3; Moc2; pHc1; Pc1; Pc2 e Pc3 e para a malha geoestatistica sem Microgeo® (Tabela 2) apenas CBMs; AREs3; pHs3 e Ps3 apresentaram distribuição leptocúrtica. Os demais dados aproximaram de zero.

Nos Quadros 2 e 3 estão apresentadas as matrizes de correlação linear simples entre os atributos de produtividade de planta (ALTPc; ALTEc; NGEc; MCGc; MEc e CEc) e

microbiológicos do solo (CBMc; RBSc e qCO_2c), em relação aos atributos físico-químicos e biológicos do solo com a utilização do produto Microgeo® e (ALTPs; ALTEs; NGEs; MCGs; MEs e CEs) e microbiológicos do solo (CBMs; RBSs e qCO_2s) em relação aos atributos físico-químicos e biológicos do solo sem a utilização do produto Microgeo® respectivamente.

Através da matriz de correlação com a utilização do produto Microgeo® (Quadro 2) e sem a utilização do produto (Quadro 3) é possível interpretar os atributos de acordo com suas correlações positivas (diretamente proporcional) e negativas (inversamente proporcional), bem como as correlações significativas a 1% (**) e significativas a 5% (*).

As correlações entre (CBMc*qCO_2c) e (CBMc* Moc1) foram significativas a 1% com valores respectivos de -0,46096** e 0,41088**, sendo inversamente proporcional com qCO_2, isso porque quanto menor o número de microrganismos mais energia será gasta por eles para degradar ou quebrar o substrato, com a matéria orgânica da primeira camada do solo se mostrou proporcional, evidenciando o fato de que há uma maior população microbiana nas primeiras camadas do solo e tende a ser maior com o maior teor de matéria orgânica disponível. Também houve correlação significativa a 5% entre (CBMc*ARGs1 e ARGc3) onde quanto maior o teor de argila maior a população microbiana.

Este fato evidencia a eficiência da microfauna no uso do substrato disponível, fato este que corrobora com diversos dados em literatura a exemplo dos trabalhos de Dornelles et al. (2017) e Zhang et al. (2018) que obtiveram ao mesmo resultado, avaliando a aplicação de doses de dejetos líquidos suínos em um LATOSSOLO Vermelho Aluminoférrico típico com textura argilosa e em três solos do sul da China, respectivamente, destacaram o aumento e eficiência da biomassa microbiana.

A correlação entre CBMc*SILc1 e CBMc*SILc3 foi inversamente proporcional. O CBM representa a fração viva do carbono orgânico total do solo, sendo considerado um indicador sensível da qualidade do solo, por ser facilmente alterado através da ação antrópica e pelas diferentes estratégias de uso do solo (KASCHUK et al., 2011).

Até mesmo diferentes cultivos alteram o valor do CBM o maior valor de CBM observado por Kuwano et al. (2014) foi em solo sob floresta nativa seguida por floresta secundária. Estes autores também constataram que mesmo depois de duas décadas sem interferência antrópica no solo da floresta secundária, o CBM não foi restabelecido para os níveis encontrados na mata nativa. O tipo de uso do solo leva à seleção de grupos microbianos mais adaptados e acaba diminuindo o CBM. Silva et al. (2015) também sugerem que os teores de CBM são muito variáveis, pois estão diretamente ligados às condições climáticas, manejo, fertilidade do solo e as espécies cultiváveis.

Ao observarmos a respiração basal do solo (RBSc) a qual indica a quantidade de CO_2 que é liberada pela quebra do de carbono da matéria orgânica do solo percebemos uma correlação positiva significativa a 5% com a argila da primeira camada do solo (RBSc*ARGc1); com a areia da segunda camada (RBSc*ARGc2) e com o silte da terceira camada (RBSc*SILc3). Já para argila da terceira camada (RBSc*ARGc3) e pH da primeira camada (RBSc*pHc1) apresentou correlação positiva significativa a 1%.

A altura de plantas apresentou correlação positiva a 5% (RBSc*ALTPc), enquanto a massa de cem grãos apresentou correlação positiva significativa a 1% (RBSc*MCGc). Como relatado anteriormente elevados valores de RBS indicam maior atividade da biomassa microbiana no solo. Alta atividade microbiana pode significar rápida transformação de

resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação no solo.

De acordo com Balota et al. (2010) maiores taxas respiratórias podem ser observadas em solos que sem intervenção ou preparo, provavelmente devido ao maior teor de C orgânico acumulado, o que favorece a comunidade microbiana, além da maior disponibilidade de substratos e também devido as condições de umidade e temperatura homogêneas, fato este que pode ter influenciado os resultados observados neste trabalho, devido à época de coleta ser caracterizado por um longo período de seca e oscilação de temperatura.

Quanto à textura do solo, a argila da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% quanto à altura de plantas (ARGc1* ALTPc) e correlação positiva significativa a 1% para massa de cem grãos e massa da espiga (ARGc1*MCGc e ARGc1*MEc). Para altura da espiga, essa fração apresentou correlação inversamente proporcional a 5% (ARGc1*ALTEc). Os teores de argila da segunda camada apresentaram correlação positiva significativa a 1% para número de grãos por espiga, massa de cem grãos e massa da espiga (ARGc2*NGEc; ARGc2*MCGc e ARGc2*MEc). Na terceira camada, a ARGc3 apresentou correlação positiva significativa a 1% para altura de plantas, massa de cem grãos e massa da espiga (ARGc3*ATLPc; ARGc3*MCGc e ARGc3*MEc).

O silte da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% para altura da espiga (SILc1*ALTEc) e correlação inversamente proporcional significativa a 5% para numero de grãos por espiga (SILc1* NGEc) e para massa de cem grãos e massa da espiga significativo a 1% (SILc1*MCGc; SILc1*MEc). Os teores de silte das camadas dois e três apresentaram valores de correlação inversamente proporcional significativo a 1% para os seguintes atributos: (SILc2*NGEc; SILc2*MCGc e SILc2*MEc) e (SILc3*ALTPc; SILc3*NGEc ; SILc3*MCGc ; SILc3*MEc; SILc3*CEc).

A fração areia na primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 5% apenas com numero de grãos por espiga (AREc1*NGEc), tanto os teores de areia da segunda como da terceira camada apresentaram correlação positiva significativa a 5% apenas para massa de cem grãos (AREc2*MCGc e AREc3*MCGc).

A matéria orgânica da primeira camada apresentou correlação positiva significativa a 1% tanto para altura de plantas como massa de cem grãos (Moc1*ALTPc e Moc1* MCGc). A matéria orgânica da terceira camada apresentou correlação inversamente proporcional com significância de 1% para massa de cem grãos (Moc1*MCGc) assim como o pH da primeira camada (pHc1*MCGc).

Quadro 2. Matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, com a utilização do produto Microgeo®.

Atributos (a)	ALTPc	ALTEc	NGEc	MCGc	MEc	CEc	CBMc	RBSc	qCO_2c
CBMc	0.16983	-0.07861	0.03218	0.27095	0.09846	-0.01180			
RBSc	**0.32569***	-0.01593	-0.02084	**0.38132****	0.03997	0.18586	-0.01546		
qCO2c	-0.12842	-0.13914	0.00997	-0.08353	-0.11243	0.27044	**-0.46096****	0.09650	
ARGc1	**0.31662***	**-0.31186***	0.18437	**0.73416****	**0.44122****	0.19099	**0.28703***	**0.27018***	-0.03357
ARGc2	0.18669	-0.19011	**0.38316****	**0.43512****	**0.38754****	0.17936	0.21409	-0.01856	0.07862
ARGc3	**0.45284****	-0.23320	0.22933	**0.80388****	**0.48684****	0.25831	**0.34521***	**0.32025****	-0.04066
SILc1	-0.21297	**0.31328***	**-0.29565***	**-0.69704****	**-0.40523****	-0.26700	**-0.34844***	-0.24578	0.00440
SILc2	-0.23867	0.14071	**-0.38800****	**-0.49294****	**-0.37234****	-0.23261	-0.21116	-0.08442	-0.11035
SILc3	**-0.44032****	0.18366	-0.24984	**-0.78220****	**-0.45349****	**-0.29208***	**-0.33991***	**-0.35192***	0.00389
AREc1	-0.07836	-0.12842	**0.29528***	0.22194	0.10622	0.22789	0.23758	0.06034	0.04441
AREc2	0.21611	0.13206	0.09350	**0.28602***	0.02410	0.21953	0.03274	**0.35382***	0.12608
AREc3	0.16103	0.04862	0.16349	**0.28750***	0.11241	0.21670	0.13570	0.23758	0.09432
Moc1	**0.46799****	0.15317	0.04002	**0.57076****	0.26222	0.17591	**0.41088****	0.41088	-0.08258
Moc2	0.08461	0.19226	0.02617	-0.11766	0.00836	-0.08339	0.03154	-0.03759	0.00524
Moc3	0.05498	0.10098	0.03009	**-0.41361****	0.04111	-0.05327	-0.22413	-0.22841	0.15750
pHc1	0.22674	-0.12080	0.10892	**0.41070****	0.03052	0.22678	0.08500	**0.39247****	0.10153
pHc2	0.05498	0.10098	0.03009	-0.08665	-0.08484	0.05723	-0.04801	-0.02017	-0.13741
pHc3	0.14366	-0.14493	-0.08837	0.09276	-0.02076	0.06886	-0.03072	0.07808	-0.15505
Pc1	**0.34902***	-0.05008	0.04999	**0.62701****	**0.37202****	0.20121	0.13649	0.15674	0.03642
Pc2	**0.41460****	0.07089	0.23016	**0.49254****	**0.36126****	0.12776	-0.04427	0.26910	-0.01180
Pc3	0.13143	0.11795	-0.07345	-0.05244	0.05393	-0.07063	-0.06092	0.14054	0.18885

(a)CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os teores de fosforo da primeira e da segunda camada do solo foram correlacionados positivamente a 1% de significância para massa de cem grãos e massa da espiga (Pc1*MCGc; Pc1*MEc Pc2*MCGc e Pc2*MEc), sendo o da segunda camada também significativo a 1% para altura de plantas (Pc2* ALTPc) e os teores da primeira camada apresentou significância a 5% para altura de plantas (Pc1*ALTPc).

Quanto às correlações lineares em áreas sem aplicação de Microgeo® (Quadro 3), observa-se que houve correlação positiva de CBMs com o comprimento de espiga e número de grãos por espiga, com valores de 0,32620* e 0,31556*, respectivamente,

inferindo sobre a correlação proporcional deste atributo biológico com os parâmetros produtivos da cultura.

Quadro 3. Quadrante da matriz de correlação linear simples entre alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e produtividade de milho na região de Jataí-GO, sem a utilização do produto Microgeo®.

Atributos (a)	ALTPs	ALTEs	NGEs	MCGs	MEs	CEs	CBMs	RBSs	qCO2s
CBMs	0.23605	-0.16136	**0.32620***	0.00677	-0.10565	**0.31556***			
RBSs	-0.05592	-0.16264	-0.10812	-0.20789	-0.22448	-0.16143	0.09800		
qCO2s	-0.16629	0.12248	**-0.47389****	**-0.09039**	-0.00342	**-0.43120****	**-0.81614****	0.21112	
ARGs1	0.20768	-0.09382	**0.38111****	**0.27922***	0.02983	**0.42802****	**0.43140****	-0.16707	**-0.47560****
ARGs2	0.26463	-0.04044	**0.39421****	**0.25185***	-0.04014	**0.43494****	**0.51302****	-0.19860	**-0.57261****
ARGs3	0.19116	-0.10278	**0.36509****	**0.34584***	0.04715	**0.44017****	**0.50122****	**-0.28294***	**-0.57213***
SILs1	-0.24358	0.07013	**-0.37596****	**0.25185***	-0.00556	**-0.41196****	**-0.44317****	0.20462	**0.49838****
SILs2	-0.26529	0.04765	**-0.39265****	**-0.27038***	0.04997	**-0.41219****	**-0.50655****	0.21607	**0.57280****
SILs3	-0.14371	0.14253	**-0.30207***	**-0.35500***	-0.07185	**-0.41520****	**-0.41366****	0.27472	**0.52650****
AREs1	**0.35708***	0.19507	0.02089	0.20123	-0.21152	-0.06830	0.18091	**-0.36470****	**-0.28688***
AREs2	0.09852	-0.10030	0.11609	**0.30848***	-0.13174	-0.12417	0.09785	**-0.27749***	-0.19819
AREs3	-0.00729	-0.21068	0.10310	0.18930	-0.07687	0.12107	0.12747	0.03728	-0.21110
Mos1	**0.47793****	0.24504	-0.25296	0.01703	**-0.28196****	0.11100	0.04502	-0.10874	-0.10518
Mos2	0.11771	0.03126	0.11562	0.16368	-0.07632	0.06971	-0.14483	-0.27850	-0.06905
Mos3	0.17174	0.16238	-0.00376	0.33849*	-0.05615	-0.05907	0.03039	**-0.31477***	-0.10935
pHs1	0.12810	0.12753	-0.03586	-0.13428	-0.03556	0.06232	0.12942	-0.09371	-0.25378
pHs2	0.12428	0.05822	0.05712	0.25205	0.07435	-0.00407	0.08932	**-0.28623***	**-0.28998***
pHs3	0.01859	0.08314	0.01679	0.23547	0.22042	0.19115	-0.03315	-0.24108	-0.12639
Ps1	**0.37501****	**0.26807***	**-0.36041***	-0.11888	0.12728	0.13107	-0.00640	-0.19756	-0.01668
Ps2	0.22561	0.00404	0.21036	0.20157	-0.04513	0.11539	0.08882	-0.13451	-0.22520
Ps3	0.04875	-0.09067	-0.01214	0.13248	0.01294	0.11386	0.16559	-0.10325	-0.17510

(a) CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo®; Significativo a 5%, ** Significativo a 1%.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O quociente metabólico, apresentou correlação linear negativa, sendo inversamente proporcional ao comprimento e número de grãos por espiga, assim como para o carbono da biomassa microbiana. A correlação negativa entre os dois atributos biológicos, manteve a mesma tendência do Quadro 2, uma vez que quanto maior o carbono da biomassa, maior a atividade dos microrganismos e com isso, menor quociente metabólico.

O teor de argila, nas três camadas de solo, apresentou correlação positiva com NGEs, MCGs, CEs e CBMs. Em contrapartida, com qCO_2 essa interação foi inversamente proporcional, com correlação negativa de -0,47560**, -0,57261** e -0,57213*, nas três camadas de solo, respectivamente. Além de ser inversamente proporcional à qCO_2, a ARG3s também apresentou correlação negativa significativa com RBSs.

Quanto à fração silte, na camada de 0-0,10 m foi significativa a correlação positiva SILs1*MCGs e SILs1*qCO2s e negativa, entre SILs1*NGEs, SILs1*CEs e SILs1*CBMs. Enquanto que, na segunda e terceira camada de solo o silte apresentou correlação proporcional apenas com qCO_2s, sendo inversamente proporcional com NGEs, MCGs, CEs e CBMs.

O teor de areia no solo, correlacionou-se positivamente com ALTPs na camada de 0 – 0,10 m e com MCGs na camada de 0,10 – 0,20 m. Ainda na primeira camada AREs1 foi inversamente proporcional à RBSs e qCO_2, enquanto que AREs2*RBSs (-0,27749*).

Quanto aos atributos químicos, a matéria orgânica do solo apresentou as seguintes correlações, Mos1*ALTPs (0,47793**), Mos1*MEs (-0,28196**) e Mos3*RBSs (-0,31477), ambas significativas a 1%. Em relação ao pH do solo, este apresentou correlação apenas na camada de 0,10 – 0,20 m, sendo inversamente proporcional à RBSs e qCO_2s.

As correlações com o teor de P no solo foram na camada superficial do solo, de 0 – 0,10 m, onde o teor deste macronutriente foi diretamente proporcional à ALTPs e ALTEs, e inversamente proporcional a NGEs. Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas para os pontos amostrais da área que recebeu aplicação do produto Microgeo® estão na Quadro 4, bem como seus respectivos semivariogramas (Figuras 3 e 4), dentre os parâmetros apenas a respiração basal do solo RBSc se ajustou adequadamente ao modelo exponencial e apresentou dependência espacial muito alta.

Com relação aos atributos ARGc2; SILc1; SILc2 e Moc1, estes apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico, todos apresentando dependência espacial muito alta. Neves Neto et al. (2013) apontaram os modelos esféricos e exponenciais como os mais frequentes aos atributos do solo. O modelo esférico é um dos mais ajustados na prática e se caracteriza por alcançar o patamar a uma distância finita e é indicativo de fenômenos contínuos. O modelo exponencial é detentor de maior alcance entre os dois, nas mesmas circunstâncias (CALVETE; RAMIREZ, 1996). O modelo de semivariograma que se ajustou adequadamente aos atributos ARGs1; ARGc3; SILc3; Pc1; Pc2 e MCGc foi o gaussiano. Segundo Grego et al. (2014), o modelo gaussiano representa os processos de maior continuidade, com um crescimento lento na origem e um ponto de inflexão próximo ao alcance.

As demais variáveis (CBMc e qCO_2c) apresentaram efeito pepita puro, nesse caso, encontram-se com distribuição aleatória para distâncias maiores que a menor distância de amostragem, distribuindo-se de forma independente no espaço, indicando que para essas variáveis a distância de amostragem não foi capaz de exibir toda a variância dos dados (ROSA FILHO et al., 2011). O mesmo foi observado para AREc1; AREc2; AREc3; Moc2; Moc3; pHc1; pHc2; pHc3; Pc3; ALTPc; ALTEc e NGEc (Quadro 4).

De acordo com Dalchiavon et al. (2012), onde: a) ADE < 20% = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) 20% ≤ ADE < 40% = baixa dependência (BA); c) 40% ≤ ADE < 60% = média dependência (ME); d) 60% ≤ ADE < 80% = alta dependência (AL) e e) 80% ≤ ADE < 100% = muito alta.

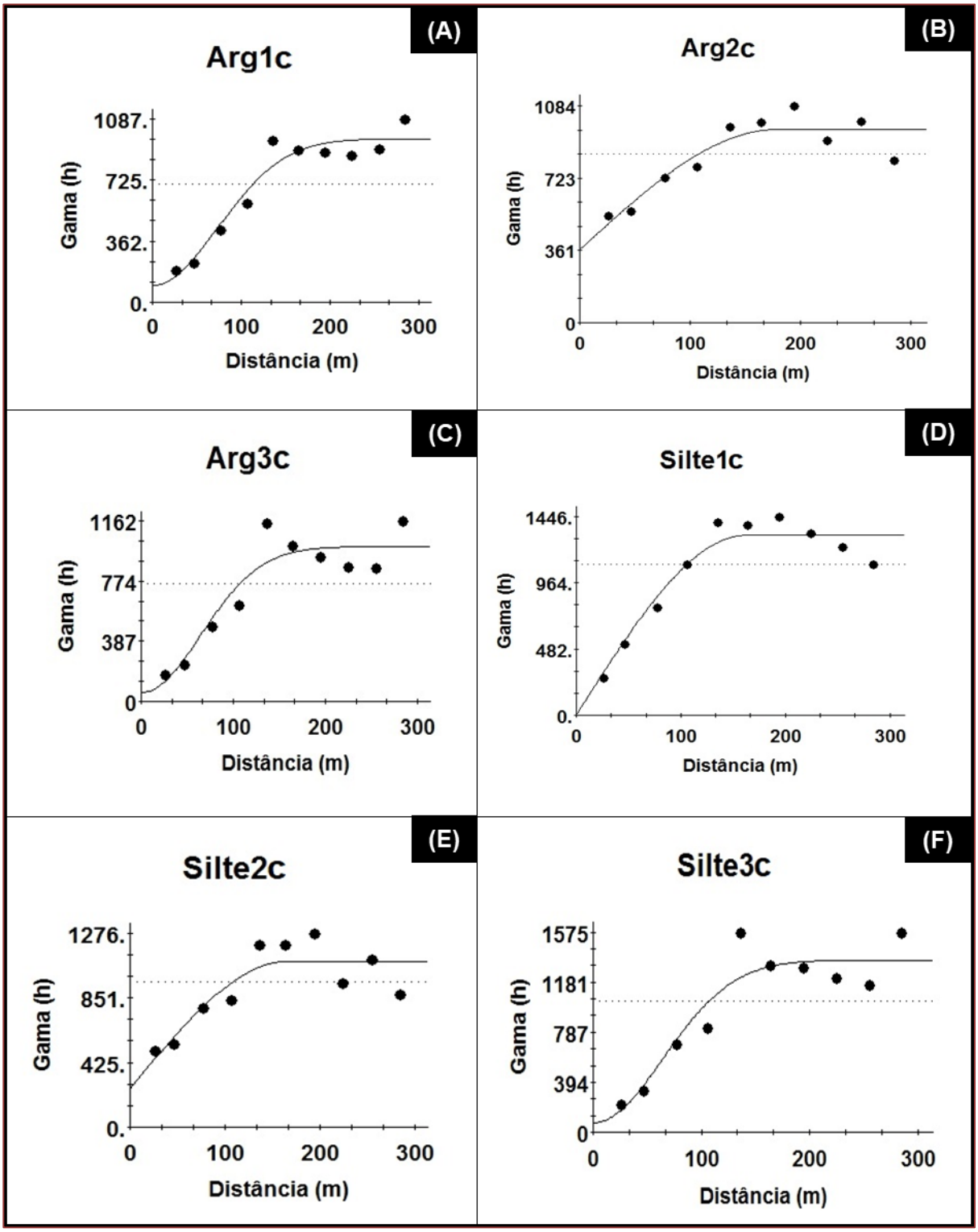
Quadro 4. Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físicos, químicos e biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, com a utilização do produto Microgeo®.

Atributos [a]	Modelo [b]	Efeito pepita	Patamar	Alcance	r^2	SQR[c]	ADE [d]	
		(C_0)	(C_0+C)	(A_0) (m)			%	Classe
CBMc	Epp	5,705	5,705	-	-	-	-	-
RBSc	Exp (30)	11,40	74,45	189	0,719	515	0,847	MA
qCO2c	Epp	545,9	545,9	-	-	-	-	-
ARGs1	Gaus (30)	100	968	180	0,937	58723	0,897	MA
ARGc2	Esf (30)	364	965	178	0,834	54525	0,623	MA
ARGc3	Gaus (30)	57	996	158	0,783	156509	0,943	MA
SILc1	Esf (30)	1	1311	163	0,931	104409	0,999	MA
SILc2	Esf (30)	253	1090	166	0,768	154276	0,768	MA
SILc3	Gaus (30)	75	1356	158	0,867	278705	0,945	MA
AREc1	Epp	266	266	-	-	-	-	-
AREc2	Epp	74,36	74,36	-	-	-	-	-
AREc3	Epp	111,8	111,8	-	-	-	-	-
Moc1	Esf (30)	2,72	30,72	171	0,786	161	0,911	MA
Moc2	Epp	17,77	17,77	-	-	-	-	-
Moc3	Epp	25,76	25,76	-	-	-	-	-
pHc1	Epp	0,141	0,141	-	-	-	-	-
pHc2	Epp	0,085	0,085	-	-	-	-	-
pHc3	Epp	0,0287	0,0287	-	-	-	-	-
Pc1	Gaus (30)	170	712	144	0,429	237455	0,761	MA
Pc2	Gaus (30)	13,6	135,7	91	0,322	19980	0,900	MA
Pc3	Epp	29,59	29,59	-	-	-	-	-
ALTPc	Epp	0,012	0,012	-	-	-	-	-
ALTEc	Epp	0,019	0,019	-	-	-	-	-
NGEc	Epp	4,122	4,122	-	-	-	-	-
MCGc	Gaus (30)	0,58	6,47	177	0,936	2,73	0,910	MA
MEc	Epp	213	213	-	-	-	-	-
CEc	Epp	0,258	0,258	-	-	-	-	-

(a) CBM, RBS, qCO2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (c) com microgeo®; (b) Modelo: epp = efeito pepita puro, exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano. (c) SQR = soma de quadrado de resíduos; (d) ADE = avaliador de dependência espacial: M = média; A = alta; MA = muito alta.

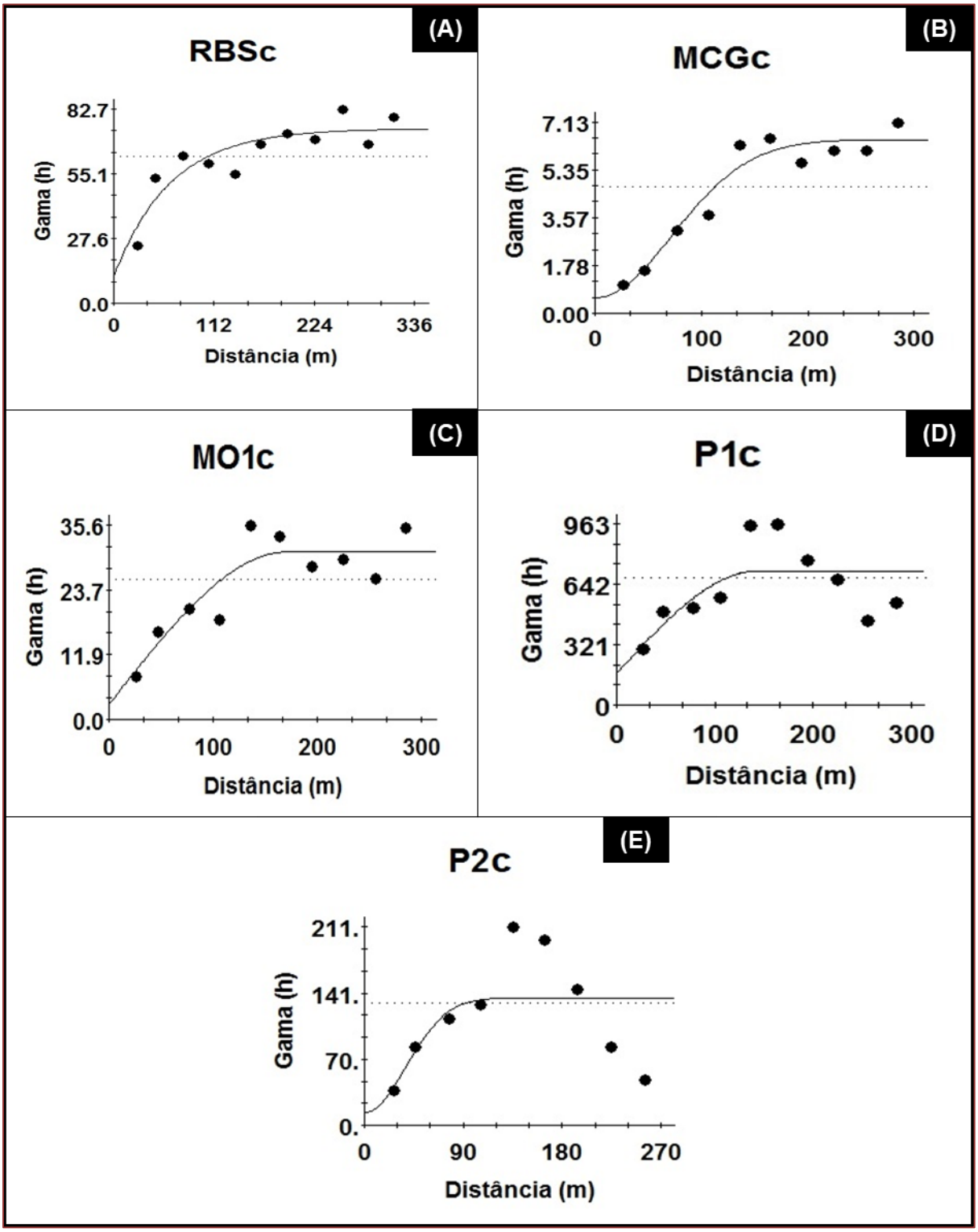
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 3. Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroferrico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®.



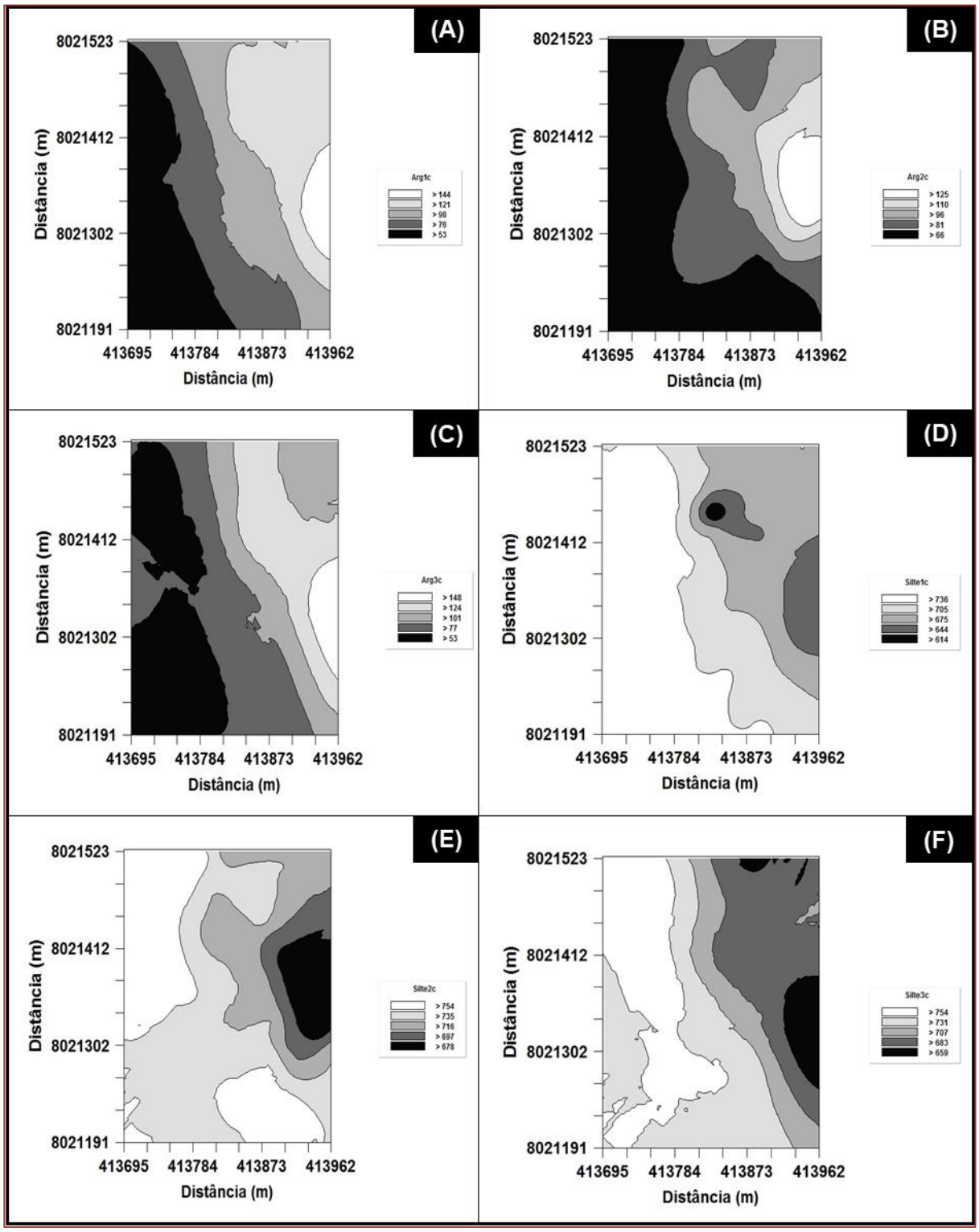
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 4. Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroferrico (RBSc (A), MCGc (B), MO1c (C), P1c (D) e P2c (E)) com a utilização de Microgeo®.



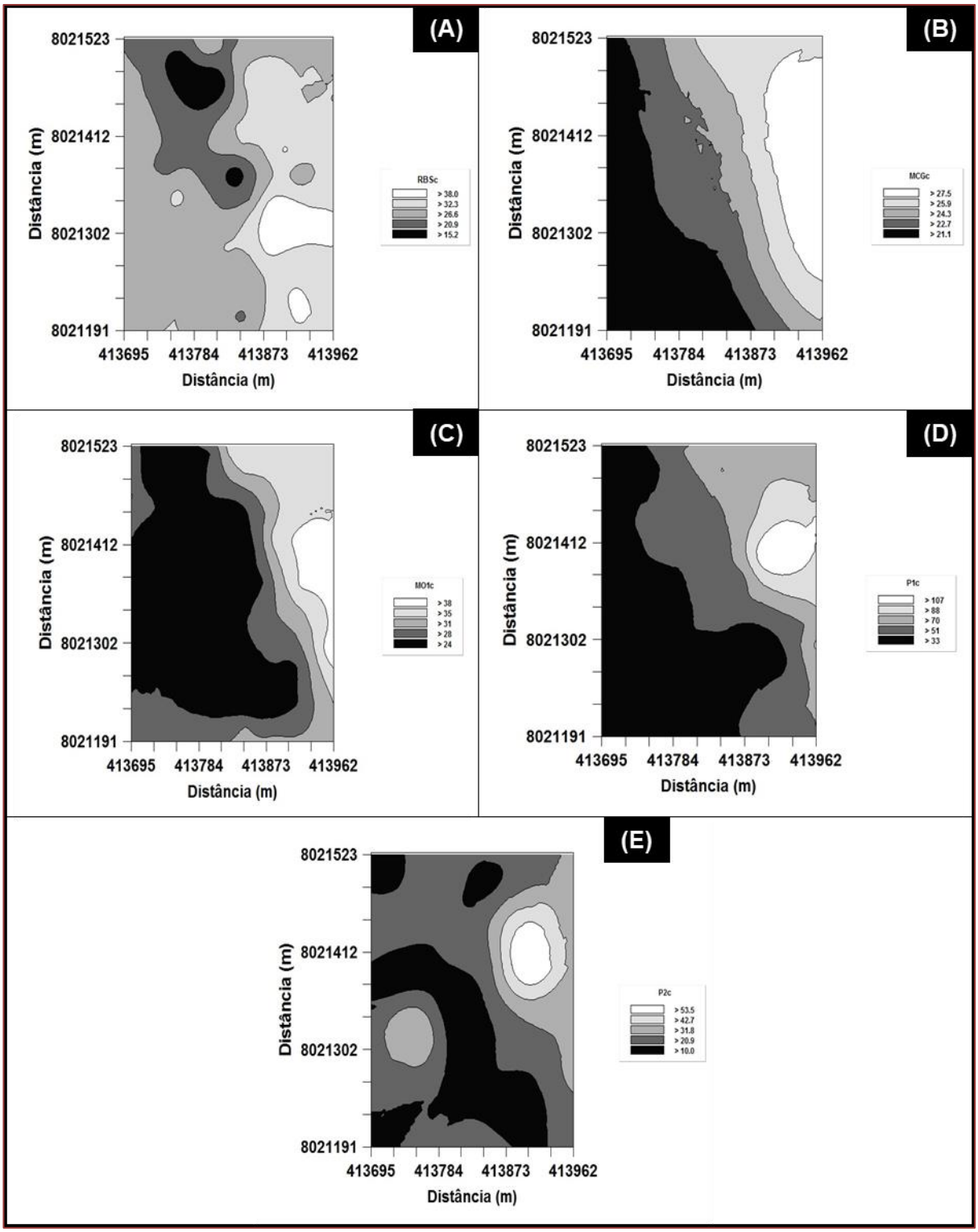
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 5. Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico (Arg1c (A), Arg2c (B), Arg3c (C), Silte1c (D), Silte2c (E) e Silte3c (F)) com a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 6. Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico (RBSc (A), MCGc (B), MO1c (C), P1c (D) e P2c (E)) com a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas para os pontos amostrais da área que não recebeu aplicação do produto Microgeo® estão na Quadro 5, bem como seus respectivos semivariogramas (Figuras 7 e 8), os atributos CBMs; AREs3 e ALTPs apresentaram melhor ajuste ao modelo esférico tendo alta dependência espacial para altura de plantas e muto alta para carbono da biomassa microbiana e areia na terceira camada.

Quanto ao pHs2 e CEs, ambos foram melhor ajustados ao modelo exponencial apresentando dependência espacial muito alta e alta, respectivamente. Enquanto isso, a ARGs1; ARGs2 e SILs1; SILs2 tiveram ajustes gaussiano com dependência espacial muito alta. Cambardella et al. (1994) afirmam que os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados pelas propriedades intrínsecas do solo (textura, mineralogia) e aqueles influenciados por propriedades extrínsecas do solo (cultivo e aplicação de fertilizantes) apresentam fraca dependência espacial.

Tanto para a malha amostral com ausência e fornecimento de Microgeo®, a aplicação os valores de alcance observados foram acima de 60 metros, sendo os menores valores dos atributos areia da terceira camada sem Microgeo® (AREs3 61,7) e comprimento da espiga sem Microgeo® (CEs 65,0).

O alcance (A) representa a distância em que a variável sinaliza continuidade espacial e a partir dessa distância, o comportamento da variável passa a ser aleatório sendo de grande valia para o planejamento e avaliação de experimentos, auxiliando na definição de procedimentos amostrais (WEBSTER, 1990).

Significa a distância máxima de correlação espacial da variável, portanto, distâncias entre pontos maiores que o alcance representa distribuição aleatória (ZANÃO JÚNIOR et al., 2010). Todos os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor do espaçamento entre amostras, indicando estarem correlacionadas umas às outras, permitindo as interpolações. Por outro lado, valores baixos de alcance influem negativamente nas estimativas, porque poucos pontos são usados na interpolação, podendo prejudicar a qualidade dos mapas.

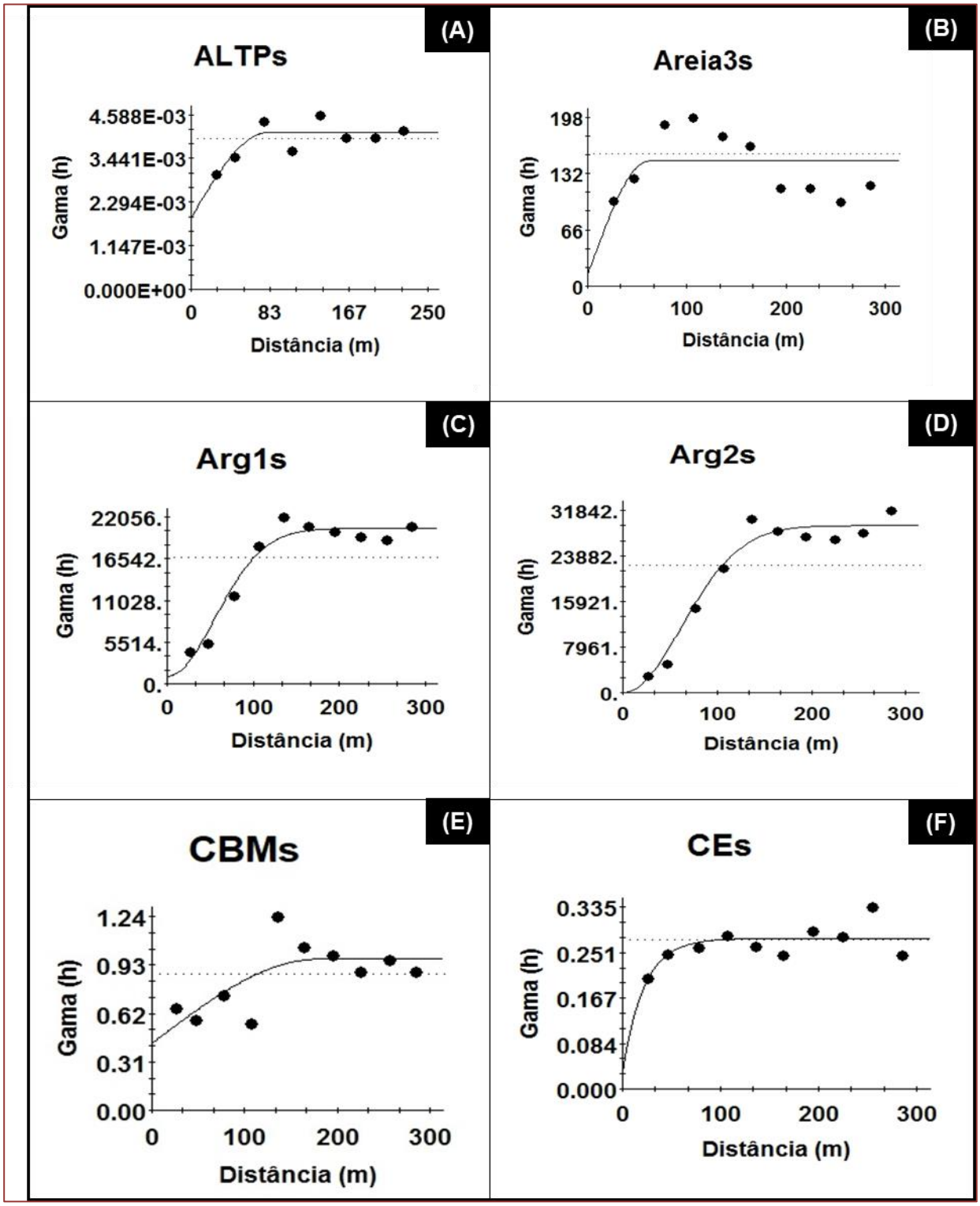
Quadro 5. Parâmetros dos semivariogramas simples de alguns atributos físico-químicos-biológicos do solo e componentes biométricos e de produção do milho na região de Jataí-GO, sem a utilização do produto Microgeo®.

Atributos [a]	Modelo [b]	Efeito pepita	Patamar	Alcance	r^2	SQR[c]	ADE [d]	
		(C_0)	(C_0+C)	(A_0) (m)			%	Classe
CBMs	Esf (30)	0,431	0,972	179	0,492	0,223	0,557	MA
RBSs	Epp	291	291	-	-	-	-	-
qCO_2s	Epp	223	223	-	-	-	-	-
ARGs1	Gaus (30)	1000	20530	136	0,959	$1,64x10^7$	0,951	MA
ARGs2	Gaus(30)	10	29150	152	0,963	$3,71x10^7$	0,878	MA
ARGs3	Epp	43970	43970	-	-	-	-	-
SILs1	Gaus (30)	80	22010	142	0,969	$1,59x10^7$	0,996	MA
SILs2	Gaus (30)	10	30780	151	0,969	$3,63x10^7$	0,956	MA
SILs3	Epp	4429	4429	-	-	-	-	-
AREs1	Epp	596,9	596,9	-	-	-	-	-
AREs2	Epp	221,7	221,7	-	-	-	-	-
AREs3	Esf (30)	13,1	146	61,7	0,158	10841	0,911	MA
Mos1	Epp	12,262	12,262	-	-	-	-	-
Mos2	Epp	5,09	5,09	-	-	-	-	-
Mos3	Epp	2,411	2,411	-	-	-	-	-
pHs1	Epp	0,185	0,185	-	-	-	-	-
pHs2	Exp (30)	0,0417	0,222	73	0,204	0,0141	0,813	MA
pHs3	Epp	0,107	0,107	-	-	-	-	-
Ps1	Epp	918	918	-	-	-	-	-
Ps2	Epp	79,1	79,1	-	-	-	-	-
Ps3	Epp	54,6	54,6	-	-	-	-	-
ALTPs	Esf (30)	0,0018	0,0041	80	0,676	$6,08x10^{-7}$	0,544	A
ALTEs	Epp	0,00259	0,00259	-	-	-	-	-
NGEs	Epp	1,896	1,896	-	-	-	-	-
MCGs	Epp	2,121	2,121	-	-	-	-	-
MEs	Epp	165,4	165,4	-	-	-	-	-
CEs	Exp (30)	0,0311	0,277	65	0,461	$5,781x10^{-3}$	0,888	A

(a) CBM, RBS, qCO_2, ARG, SIL, ARE, Mo, pH, P, ALTP, ALTE, NGRE, MCG, ME e CE são, respectivamente, carbono da biomassa microbiana, respiração basal do solo, argila, silte areia, matéria orgânica do solo, potencial de hidrogênio e fosforo, altura de planta, altura de inserção de espiga, número de grãos por espiga, massa de cem grãos, massa de espiga, comprimento de espiga sendo'1'na camada de 0-10 '2' 10-20 '3' 20-30. (s) sem microgeo® (b) Modelo: epp = efeito pepita puro, exp = exponencial, esf = esférico, gau = gaussiano. (c) SQR = soma de quadrado de resíduos; (d)ADE = avaliador de dependência espacial: M = média; A = alta; MA = muito alta.

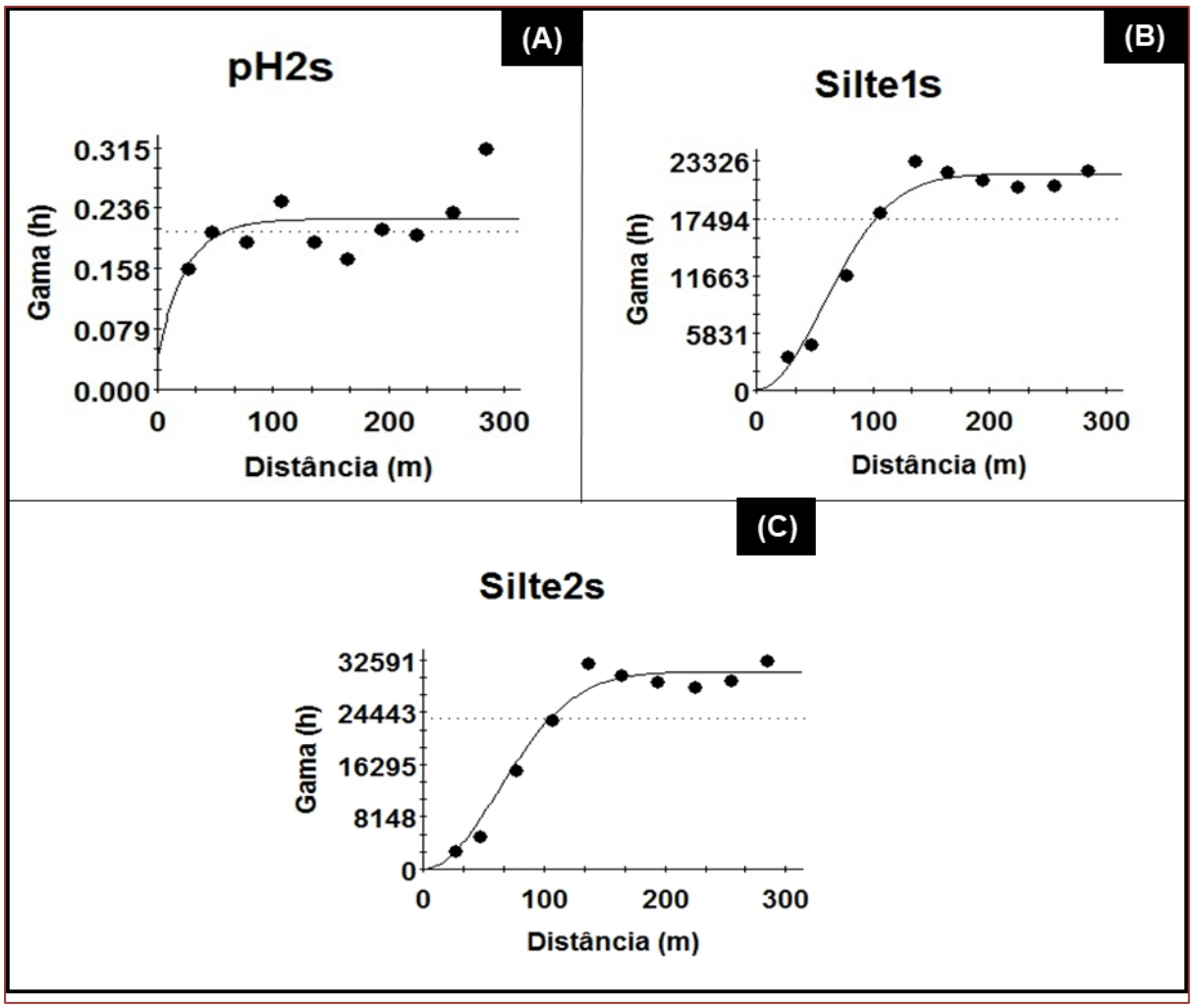
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 7. Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroferrico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®.



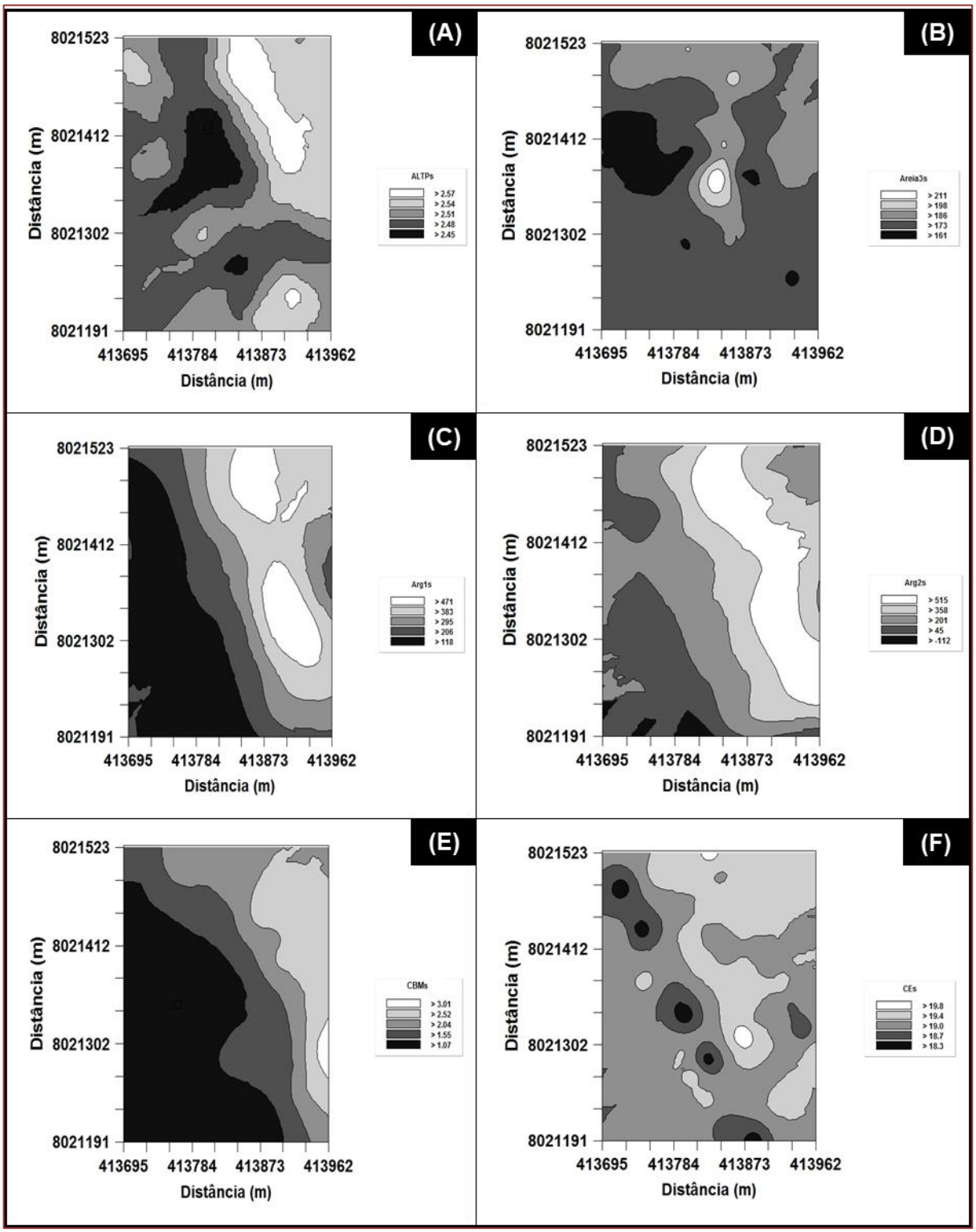
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 8. Semivariogramas simples dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroferrico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®.



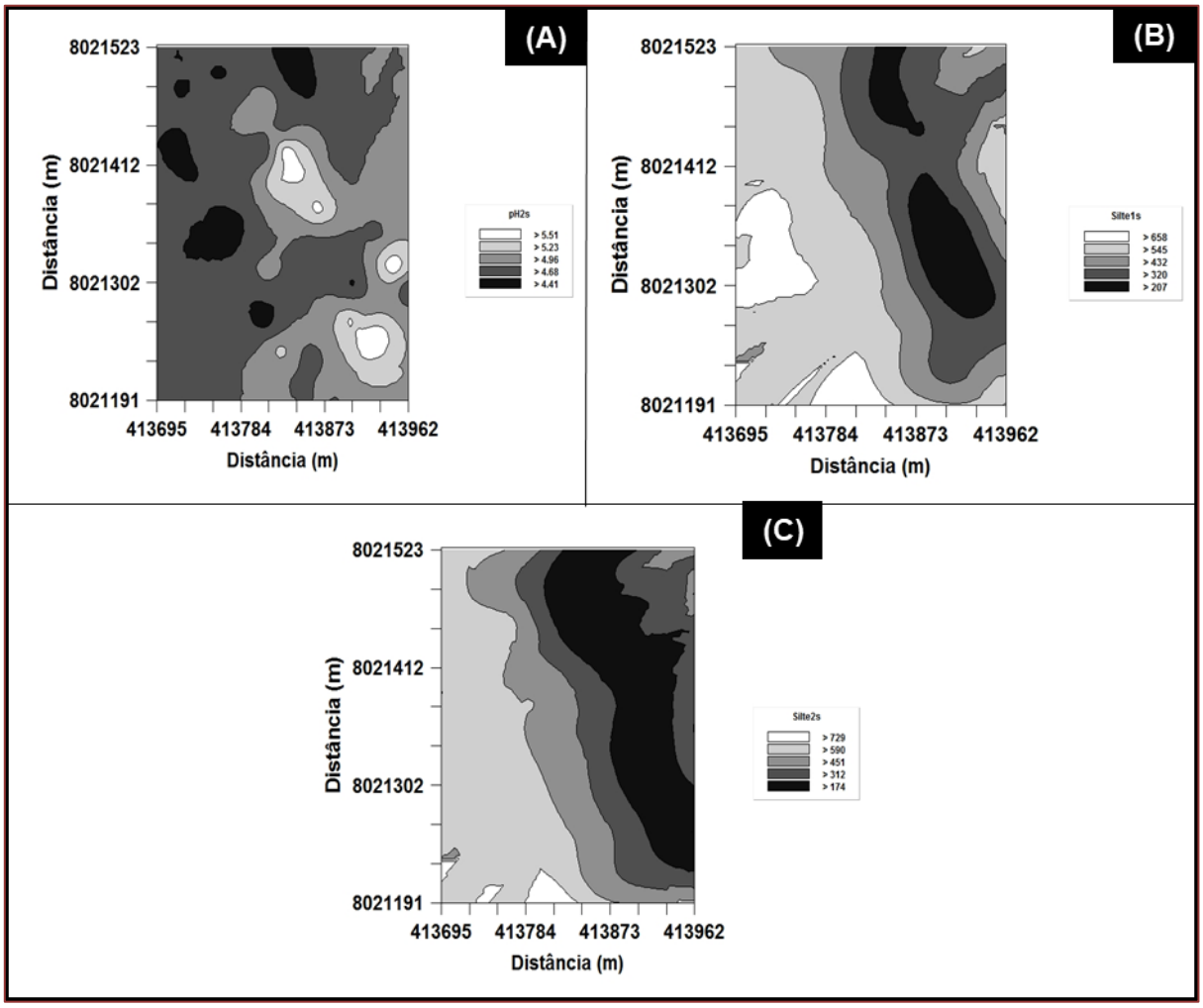
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 9. Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico (ALTPs (A), Areia3s (B), Arg1s (C), Arg2s (D) e CBMs(E) e CEs (F)) sem a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 10. Mapas de krigagem dos atributos de um LATOSSOLO Vermelho Distroférrico (pH2s(A), Silte1s (B) e Silte2s (C)) sem a utilização de Microgeo®.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4. CONCLUSÕES

A área sem aplicação de Microgeo®. Apresentou maiores valores para parâmetros biológica e químicos do solo sendo parte reflexo das diferenças entre declividade do terreno.

Ao observar o quociente metabólico a área com a aplicação de Microgeo® apresentou menores valores refletindo uma maior eficiência dos microrganismos nos processos biológicos foi observada para a área sem aplicação de Microgeo®.

A área com aplicação de Microgeo® apresenta maior homogeneidade espacial dos atributos do solo de maneira geral em comparação a área sem aplicação. Fato que contribui para melhor definição de zonas de manejo especifico e facilidade do processo de execução.

Para futuras intervenções de manejo específico do solo nas áreas deve-se: para a área com aplicação de Microgeo® utilizar alcances variando entre 91 e 189 m e para área sem aplicação de Microgeo® alcances variando entre 61 e 179 m.

REFERÊNCIAS

[1] ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO2 (q CO2) as a specific activity paramenter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. Soil Biology and Biochemistry, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

[2] BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1573–1583, 2010.

[3] BELLINI, G.; SCHMIDT FILHO, E.; MORESKI, H. M. Influência da aplicação de um fertilizante biológico sobre alguns atributos físicos e químicos do solo no cultivo rotacionado de arroz (*Oriza sativa*), milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*). In: Mostra interna de trabalhos de iniciação científica, 6., 2012, Maringá. **Anais eletrônicos...** Maringá: CESUMAR, 2012.

[4] CALVETE, F. J. S.; RAMIREZ, J. C. Geoestadística: aplicaciones a la hidrogeologia subterránea. Catalunya: Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria, 1996. 484 p.

[5] CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511, 1994.

[6] CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; SOARES, A. L. L. Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa microbiana e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 621-632, 2008.

[7] CARNEIRO, J. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 14, n. 2, p. 10-21, 2016.

[8] CHIODEROLI, A. C. Consorciação de braquiárias com milho outonal em sistema plantio direto como cultura antecessora da soja de verão na integração agricultura-pecuária. Dissertação de Mestrado. 84f, 2010.

[9] DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 541-552, 2012.

[10] DALCHIAVON, F.C.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Production and quality of *Urochloa decumbens* (stapf) r.d. webster forage co-related to the physical and chemical properties of the soil. **Revista Ceres**, v. 64, n. 3, p.315-326, 2017.

[11] DALCHIAVON, F. C.; RODRIGUES, A. R.; LIMA, E. S.; LOVERA, L. H.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo cultivado com soja sob plantio direto**. Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 16, n. 2, p. 144-154, 2017.

[12] DORNELLES, H. S.; MATSUOKA, M.; BINELO, L. A.; PAUVELS, L. A.; CARON, C. M.; SILVA, V. R. Biomassa e atividade microbiana de solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejeto líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais,** n.44. 18-26, 2017.

[13] FOSTER, E. J. et al. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. **Agriculture Ecosystems & Environment**, n. 223, p. 404- 414, 2016.

[14] GIRARDELLO, V. C. et al. Resistencia à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em LATOSSOLO argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

[15] GREGO, C.R.; OLIVEIRA, R.P.; VIEIRA, S.R. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão**. In: BERNARDI, A.C. et al. (Org.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. 2ed.Brasília, DF: Embrapa, v. 1, p. 74-83, 2014

[16] GUIMARÃES, N. de F.; GALLO, A. de S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S. P.; SOUZA, M. D. B. de; MORINIGO, K. P. G.; SILVA, R. F. da. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34–44, 2017.

[17] GS+: **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159p.

[18] ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geoestatistics**. New York: Oxford

University, 1989. 561 p.

[19] KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1, p. 467–481, 2011.

[20] KUWANO, B. H.; KNOB, A.; FAGOTTI, D. S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; ANDRADE FILHO, G.; ZANGARO FILHO, W.; TAVARES-FILHO, J.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a rhodic kandiudult under different uses in northern Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 50–59, 2014.

[21] LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. de. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 11, n. 1, p.11-20, 2017.

[22] LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 33–44, 2012.

[23] MARASCA, I. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto, na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

[24] MATIAS, S. S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em LATOSSOLO cultivado de modo convencional com soja no cerrado piauiense. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.1, p.17-26, 2015.

[25] MOLIN, J. P. et al. Variação espacial na produtividade de milho safrinha devido aos macronutrientes e à população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 6, n. 3, p. 309-324, 2010.

[26] MONTANARI R. et al. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência o Solo**, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.

[27] MONTANARI, R. et al. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo,** v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

[28] NETO, G. K.; OLIVEIRA, A. H.; PEREIRA, S. Y. Variabilidade Espacial De Atributos Físicos Do Solo Em Uma Sub-Bacia Às Margens Do Rio Mogi Guaçu (Sp). **Geociências,** v. 36, n. 2, p. 381 - 394, 2017.

[29] NEVES NETO, D. N.; SANTOS, A. C.; SANTOS, P. M.; MELO, J. C.; SANTOS, J. S. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 995-1004, 2013.

[30] PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. [S.l: s.n.], 2002.

[31] QUADROS, P.D. et al. Desempenho agronômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, v.61, n.2, p.209-214, 2014.

[32] RAIJ, B. van. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.

[33] ROSA FILHO, G., CARVALHO, M.P., MONTANARI, R., SILVA, J.M., SIQUEIRA, G.M., ZAMBIANCO, E.C. Variabilidade espacial de propriedades dendrométricas do eucalipto e de atributos físicos de um LATOSSOLO Vermelho. **Bragantia**, v.70, p.439-446, 2011.

[34] SANTOS, H.G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

[35] SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statical analysis**. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.

[36] SILVA, D. M. da; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. de O.; SILVA, D. A. A. da; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. da. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1585–1594, 2015.

[37] UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE- USDA. **Grain: world markets and trades.**

United States: Usda, 2021. Disponível em: https://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf. Acesso em: 16 fev. 2021.

[38] TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J. de; ANDRADE, M. J. B. de; SILVA, C. A.; PEREIRA, E. J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647–653, 2009.

[39] TEIXEIRA, G.K. DONAGEMMA, A. FONTANA, W.G. Teixeira. **Manual de Métodos de Análise de Solo** (3a ed.), Embrapa Solos, Brasília, DF (2017).

[40] VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com leguminosas consorciada com a seringueira. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 423-432, 2010.

[41] WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resourcer survey**. Oxford: Oxford Univesity Press, 1990. 319 p.

[42] YAMAMOTO, J. K. **Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais**. São Paulo: Gráfica Paulos, 2020. 308p.

[43] ZANÃO JÚNIOR, L. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um LATOSSOLO em sistema de plantio direto. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

[44] ZHANG, J.; LI, M.; LI, P.; KANG, W. et al. Effect of pig manure amendments on microbial biomass and functional diversity in three agricultural soils. IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, 186, 012061, 2018.

Capítulo 4

Avaliação de bioindicadores do solo submetido à irrigação com efluente industrial tratado de abatedouro de aves

Fabiana Costa de Araujo Schutz
Rodrigo José de Vargas
André Sandman
Izabela Regina Costa Araujo
Juliano Triacca

Resumo: O solo é considerado uma estrutura bastante complexa. Sua relação com os processos de alteração provocados por efluentes industriais pode ser explicada através das modificações sofridas na biologia do solo. Os objetivos deste estudo foram avaliar através do controle estatístico de processos (CEP) o comportamento de bioindicadores (Mesofauna e macrofauna) do solo submetido a irrigação com efluente industrial tratado, proveniente de abatedouro de aves em área reflorestada com Eucalyptus urophylla. O experimento foi instalado em um área de reflorestamento no oeste do Paraná, Brasil. Foram instaladas 16 parcelas, sendo 4 tratamentos: taxas de irrigação de 0, 100 m3, 200 m3 e 300 m3, com 4 reptições cada. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualisado. A partir de métodos específicos de coleta, como o TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Method) e armadilhas de queda ("pitfall trap") os bioindicadores foram coletados e classificados em laboratório de acordo com sua ordem e família. Também foram anlisados coliformes a 35 ºC através da técnica de contagem em profundidade (Petrifilm Coliform Count Plate/3M), com base na norma AFNOR 01/2-09/89C. Através da introdução e uso de ferramentas de controle estatístico de qualidade na avaliação de alguns bioindicadores do solo foi possível com este trabalho relacionar estes indicadores com atributos de fertilidade do solo, além de identificar organismos contaminantes do solo presentes no efluente utilizado na irrigação. O CEP mostrou-se uma ferramenta útil no monitoramento de bioindicadores, demonstrando que o ambiente local manteve-se em equilíbrio em diferentes volumes de efluente aplicado.

Palavras-chave: Bioindicadores, irrigação, efluente agroindustrial

1. INTRODUÇÃO

A expansão do setor industrial avícola no Brasil, especialmente com a implantação de inovações tecnológicas e o crescimento da produtividade, deu-se, principalmente a partir dos anos 1970, quando o Brasil iniciou suas exportações de carne de frango. Isso trouxe a perspectiva de um novo mercado, principalmente para produtores rurais das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Na última década o setor avícola brasileiro demonstrou considerável desenvolvimento, e a carne de frango chegou em mercados mais exigentes, como o europeu, por exemplo (MAPA, 2017). Atualmente, o Brasil ocupa a segunda posição mundial na produção de carne de frangos, que é liderada pelos Estados Unidos. Além disso, o Brasil é primeiro colocado na exportação de carne de frango, já que os Estados Unidos, embora tenham maior produção, apresentam um alto consumo interno (ABPA, 2017). Entretanto, a intensificação do abate de aves resultou em aumento significativo no uso de água nos abatedouros, consequentemente na geração de um grande volume de efluentes. O tratamento destes efluentes é parte fundamental da manutenção do ciclo produtivo da agroindústria. Depois de tratadas, em geral, as águas residuárias são dispostas no solo, porém, pouco se sabe sobre os efeitos desta prática sobre questões ambientais, como contaminação no solo, água subterrânea e cursos de água, e também sobre os efeitos da adição de água e nutrientes sobre a qualidade do solo e os organismos vivos. A biologia do solo pode trazer repostas importantes sobre estes impactos. Esses organismos são muito sensíveis a pequenas mudanças no ambiente, tornando-se ótimos indicadores de qualidade. Muitos estudos vêm adotando os parâmetros biológicos como forma de avaliar a qualidade do solo e suas alterações (FRIGUETTO; VALARINI, 2000; BARETTA et al., 2008; MENDES et al., 2009; BERTINI, 2010; FREITAS et al., 2012; SANTOS; MAIA, 2013; SANTOS, et al., 2017; STÖCKER, et al., 2017), entretanto, a sistematização dos dados utilizando ferramentas estatísticas se faz necessária para o avanço da compreensão das informações obtidas experimentalmente. O controle estatístico de processos (CEP) é uma das formas de interpretação que podem ser aplicadas aos dados referentes aos bioindicadores de qualidade do solo. Trata-se de um conjunto de ferramentas para monitoramento da qualidade a fim de que se possa observar o comportamento de determinado processo em relação à um padrão de qualidade obtido a partir de cálculos estatísticos (MONTGOMERY, 2016). Embora seja empregado no monitoramento da qualidade dos mais variados processos, a utilização do CEP para a avaliação de indicadores biológicos ainda é um tema pouco explorado. Dessa forma, pretende-se com este trabalho, inserir técnicas de controle estatístico de qualidade à avaliação dos biondicadores do solo submetido à diferentes regimes de irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves, a partir da quantificação e identificação da mesofauna e macrofauna do solo, de coliformes a 35 ºC e *Escherichia coli*., de bioindicadores do solo, comparando os efeitos da irrigação com efluente em diferentes taxas, sobre alguns bioindicadores do solo. E ainda, relacionando os bioindicadores de qualidade do solo e índices biológicos com atributos de fertilidade do solo.

2. METODOLOGIA

O experimento foi instalado nas áreas de reflorestamento de uma unidade industrial de abate de aves (UIA) no oeste do Paraná, altitude de 585 m. A região encontra-se no Bioma Mata Atlântica e o clima, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é Cfa, clima subtropical úmido. A pluviosidade média anual na região é de 1862 mm. O solo é classificado como Latossolo vermelho com textura argilosa. A espécie utilizada para cobertura florestal no experimento é o *Eucalyptus urophylla*, clone 144. A UIA abate

atualmente 340 mil aves por dia, mas o planejamento de expansão da unidade prevê o abate de 530 mil aves por dia, nos próximos anos. Com a produção atual, são gerados aproximadamente 7500 m^3 de efluentes por dia, cerca de 23 L de efluente por ave abatida.

Os efluentes são tratados em três etapas: tratamento preliminar, com a separação de sólidos grosseiros; tratamento primário, com a remoção de sólidos suspensos e óleos e graxas pelo flotador de ar dissolvido (FAD) e tratamento biológico, em um reator aerado com decantadores secundários, que constituem o sistema de lodo ativado. O efluente tratado é disposto nas áreas de reflorestamento da unidade, que totalizam 750 ha. Semanalmente este efluente é caracterizado em função das suas características físico-químicas.

Tabela 1 Média dos parâmetros físico-químicas do efluente tratado da UIA, bem como as taxas aplicadas a cada tratamento destes parâmetros.

Parâmetro	Média
pH	7,0
Condutividade elétrica	0,9 (dS cm^{-1})
SST	72,1 (mg L^{-1})
NTK	48,7 (mg L^{-1})
Fósforo total	20,2 (mg L^{-1})
DBO	32,9 (mg L^{-1})
DQO	80,9 (mg L^{-1})
Óleos e graxas	6,3 (mg L^{-1})

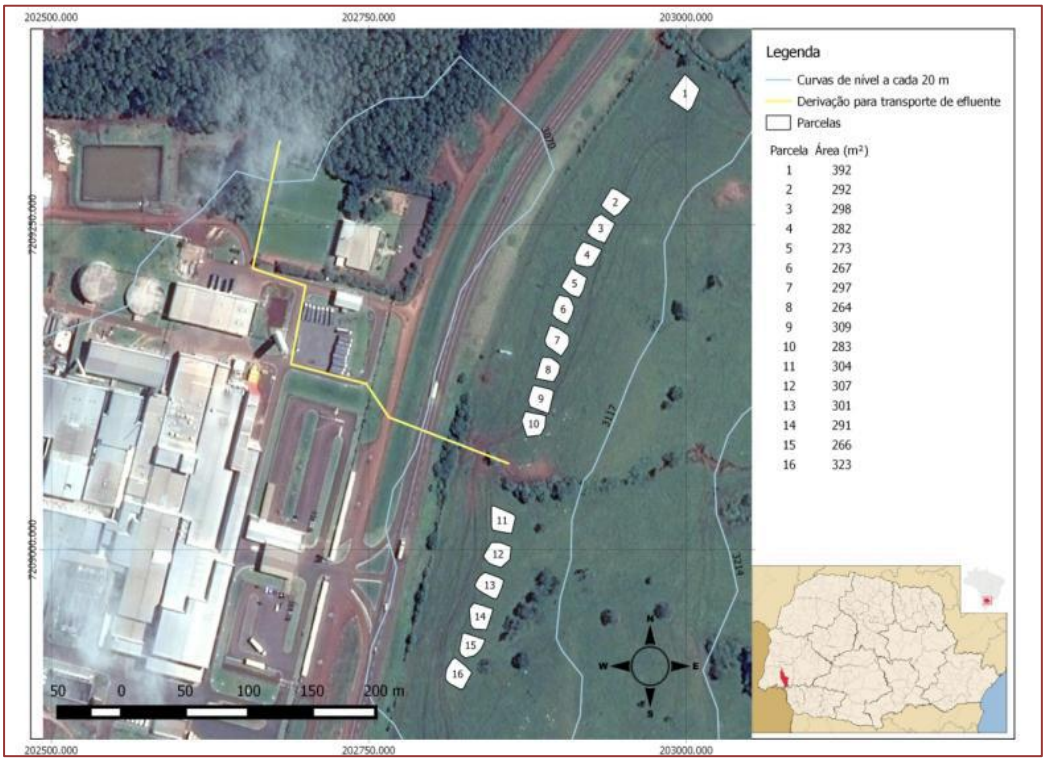
Notas: SST: Sólidos suspensos totais; NTK: Nitrogênio total Kjeldahl; DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de oxigênio.

Fonte: Morais (2018); Araujo (2019)

Atualmente a empresa aplica 100 m^3 ha^{-1} dia^{-1}, definidos com base nos ensaios de infiltração de água no solo realizados em 2013. Nestes ensaios, foi utilizado um infiltrômetro de anéis, segundo a metodologia descrita por Bernardo et al (2006).

As parcelas experimentais foram instaladas e georreferenciadas em campo (Figura 1). As áreas das parcelas variam de 264 m^2 à 392 m^2, sendo a área média das parcelas 296,8 m^2 e a área total das parcelas 4.749 m^2.

Figura 1 Alocação das parcelas e suas respectivas áreas em m^2.



Fonte: Araujo (2019)

São aplicadas às parcelas, 4 tratamentos, com 4 repetições cada, sendo um deles testemunha sem aplicação de efluente, e os outros 3, com diferentes taxas de aplicação de efluente tratado. Os tratamentos foram sorteados inteiramente ao acaso, nas 16 parcelas. As taxas de irrigação foram definidas com base na taxa nominal homologada pelo órgão ambiental, de 100 m^3 $ha^{-1}dia^{-1}$ (tratamento 1), que já vem sendo praticado pela empresa, o dobro da taxa nominal (tratamento 2) e o triplo (tratamento 3) (Tabela 2).

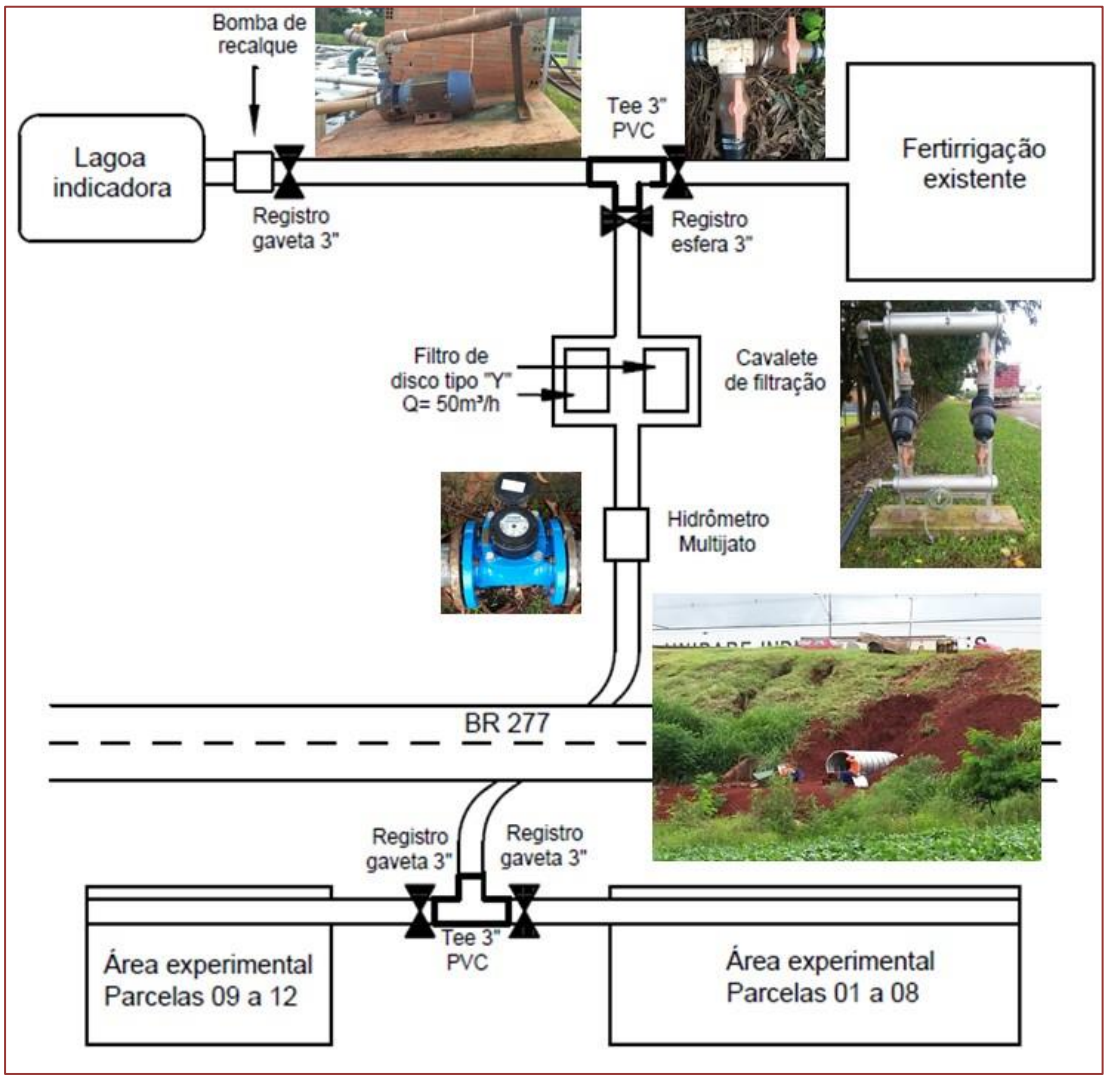
Tabela 2 Tratamentos e alocação das parcelas

Tratamento	Taxas diárias de aplicação (m^3 ha^{-1} dia^{-1})	Pressão de trabalho (mca)	Parcelas
T0	0	-	1,8,11,15
T1	100	0,5	3, 4,5,12
T2	200	1,5	2,10 13,14
T3	300	2,5	6, 7,9,16

Fonte: Morais (2018); Araujo (2019)

O sistema de irrigação transporta o efluente desde as lagoas de armazenamento até as parcelas experimentais (Figura 2).

Figura 2 Esquema do cabeçal de irrigação e transporte do efluente.



Fonte: Adaptado de Morais (2018).

Cada uma das parcelas foi equipada com um hidrômetro para verificação diária do volume de efluente aplicado, e um manômetro.

O sistema de irrigação foi acionado manualmente, e a irrigação foi realizada durante 15 horas diárias, das 08:00 às 23:00, durante cinco dias na semana, totalizando 75 horas por semana.

Figura 3 Irrigação nas parcelas experimentais

Fonte: Autor

Para a coleta da classe *Oligochaeta*, a metodologia proposta foi adaptada a partir do TSBF, Tropical Soil Biology and Fertility Method (Anderson & Ingram, 1993), em que são retirados monolitos de 20 x 20 x 20 cm de profundidade (Figura 4). Os monólitos de solo foram dispostos em peneiras e com o auxílio de uma pinça, foram retirados os Enquitreídeos e minhocas encontrados, contados e armazenados em frascos plásticos contendo solução de álcool 70%. A serapilheira foi retirada e o solo, coletado com o auxílio de um trado holandês para fins de análise de atributos físico-químicos. Para cada parcela, foram retiradas três amostras, totalizando 12 amostras para cada tratamento. As coletas foram realizadas de setembro a novembro de 2018, com temperatura média de 25 ºC.

Figura 4 Coleta e identificação das oligoquetas: Retirada dos monólitos de solo (a) e coleta das oligoquetas (b)

a) b)

Fonte: Autor

Para a captura dos artrópodes terrestres (insetos, aracnídeos, crustáceos, etc) foram utilizadas armadilhas de queda ("*pitfall trap*"). Utilizou-se copos descartáveis com volume de 500 ml enterrados até a borda, contendo uma solução de álcool 70 % (40% do volume), água (60% do volume) e detergente biodegradável (uma gota), para conservação dos animais. O detergente, de acordo com Costa Silva *et al*, (2014), quebra a tensão superficial

da água, facilitando que os insetos afundem mais rápido, impedindo que escalem a armadilha. Um prato plástico, raso com 26 cm de diâmetro, foi colocado sobre os copos, apoiado em um tripé de madeira, com o intuito de proteger da chuva (Figura 5).

Figura 5 Artrópodes coletados em uma das armadilhas (a), Armadilha no solo (b), armadilha completa com a proteção (c)

a) b)

Fonte: Autor

Os artrópodes coletados foram contados e classificados em nível de Ordem/Família, com auxílio de lupa bi-ocular e chaves taxonômicas específicas para cada grupo.

A partir da contagem e identificação em nível de grupo (Ordem/Família) dos organismos capturados, foram calculados, conforme Barros (2007), os seguintes índices de biodiversidade (Equações 1 à 4). Utilizou-se para o cálculo o software Dives.

Índice de riqueza de Margalef dado por Eq.1

$I = [(S - 1)]/\ln N$

em que:

I=diversidade;

S = número de espécies presente;

N= número total de indivíduos encontrados na amostra;

índice de Simpson, forma de dominância dada por Eq.2

$D = \Sigma (ni/N)2$,

Em que:

ni = número de indivíduos do grupo "i"

N = somatório da densidade de todos os grupos;

índice de Diversidade de Shannon-Wienner Eq.3

$(H = -\Sigma Pi \ln Pi)$,

Em que:

Pi =proporção do grupo i no total da amostra;

índice de equabilidade de Pielou definido por: Eq.4

J = H/ln

Em que:

H =índice de Shannon

S = número total de grupos na comunidade.

A riqueza dos grupos taxonômicos foi indicada pelo número (absoluto) de grupos presentes no tratamento.

Para a avaliação da presença e quantificação dos coliformes totais, foram coletadas 32 amostras, na profundidade de 0 a 10 cm. As amostras foram acondicionadas em recipientes estéreis e foram resfriadas até o momento da análise. Realizou-se no Laboratório da Cooperativa Agroindustrial Lar, a determinação quantitativa dos Coliformes 35 ºC e 45 ºC pela técnica de contagem em profundidade (Petrifilm Coliform Count Plate/3M), de acordo com a norma AFNOR 01/2-09/89C, e a determinação quantitativa de *Escherichia coli* pela técnica de contagem em profundidade (Petrifilm Coliform Count Plate/3M) de acordo com Official Methods of Analysis 998.08 (2016), ambas previstas pela ABNT NBR ISO/IEC 17025.

As amostras de solo para avaliação dos atributos químicos foram coletadas na camada de 0 a 20 cm do solo, totalizando 5 amostras por parcela. Após a coleta, foram secas ao ar, moídas e peneiradas. Os parâmetros de fertilidade do solo avaliados foram P, K, Fe, Cu, Zn, Mn (Extrator Melich) pH em $CaCl_2$, H+Al (ph 7,5), Al, Ca, Mg (Extrator KCl 1 mol L^{-1}), capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases (EMBRAPA, 2018). Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Análises Ambientais da Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon.

Considerando que, este trabalho compõe uma pesquisa mais abrangente e visando à otimização de recursos laboratoriais, algumas análises foram realizadas em conjunto com outros pesquisadores do grupo de pesquisa. Os atributos químicos do solo foram avaliados por Araujo et al. (2019) e os resultados, utilizados como parâmetros neste trabalho encontram-se apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Médias, desvios padrão, testes de média e incremento das variáveis de atributos do solo amostrados a 0 e 24 meses de irrigação

Atributo	Tratamento	24º mês de irrigação	Tukey*
P (mg dc^{-3})	T0	13,7±10,5	a
	T1	40,5±21,1	b
	T2	42,0±30,2	b
	T3	46,8±43,9	b
Matéria orgânica (g dc^{-3})	T0	39,9±4,8	a
	T1	45,3±4,5	b
	T2	41,3±4,5	a
	T3	43,7±6,0	a
pH in $CaCl_2$	T0	5,4±0,5	a
	T1	5,4±0,4	a
	T2	5,2±0,5	a
	T3	5,2±0,3	a
H+AL ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	5,0±1,6	a
	T1	4,8±0,8	a
	T2	5,0±2,3	a
	T3	5,9±1,4	a
Al^{3+} ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	0,020±0,04	a
	T1	0,018±0,04	a
	T2	0,030±0,05	a
	T3	0,028±0,05	a
K^+ ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	0,46±0,12	a
	T1	0,68±0,23	b
	T2	0,73±0,27	b
	T3	0,70±0,18	b
Ca^{2+} ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	5,38±0,9	a
	T1	5,37±1,0	a
	T2	5,39±1,1	a
	T3	5,36±0,9	a
Mg^{2+}($cmol_c$ dm^{-3})	T0	1,38±0,10	a
	T1	1,40±0,25	a
	T2	1,52±0,20	a
	T3	1,46±0,15	a
Soma de bases ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	7,2±0,9	a
	T1	7,4±1,4	a
	T2	7,6±1,2	a
	T3	7,5±1,0	a
CTC ($cmol_c$ dm^{-3})	T0	12,2±1,3	a
	T1	12,3±1,1	a
	T2	12,1±0,9	a
	T3	13,4±1,1	b
Saturação por bases (%)	T0	59,4±9,8	a
	T1	60,3±7,2	a
	T2	62,9±7,3	a
	T3	56,4±8,6	a

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al^3 – Alumínio trocável, K^+ - Potássio; Ca^{2+}- Cálcio; Mg2+ - Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica; $^+$* Incremento médio em relação às medias amostrais das análises pré-irrigação; ** Incremento médio percentual em relação às médias amostrais pré- irrigação.
Fonte: Araujo et al. (2019)

Os dados obtidos em campo e laboratório foram avaliados por meio de estatística exploratória, assim como análises de variância (ANOVA) e testes de média (teste de Tukey). Todos os conjuntos de dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shappiro-Willk a 5% de significância.

Os atributos de solo foram relacionados aos bioindicadores e índices biológicos por meio de correlação de Pearson, assim como as taxas de irrigação.

Os bioindicadores, índices biológicos e atributos do solo foram avaliados utilizando-se o controle estatístico de qualidade, mais especificamente as ferramentas "Gráficos de qualidade de Shewhart" baseado em valores de referência e "Índice de capacidade de processo", dado por (Equação 5).

$$Cp = \frac{LSC - LIC}{6\sigma} \qquad \text{Eq. 5}$$

em que:

C_p = índice de capacidade do processo;

LSC = limite superior de controle;

LIC = limite inferior de controle;

σ = desvio padrão populacional da variável em estudo, como é, geralmente, desconhecido, é comumente substituído por uma estimativa, tipicamente utilizado o desvio padrão amostral s.

Os gráficos de Shewhart para valores individuais, são construídos com base em três linhas limítrofes que são o limite central, cujo valor é a média amostral e os limites superior e inferior de controle, dados por (Equação 6).

$$LC = \bar{x} \pm 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad \text{Eq.6}$$

em que:

LC = limite de controle;

$\bar{x}$ = média dos dados;

σ = desvio padrão

n= tamanho da amostra (MONTGOMERY, 2016).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A macrofauna e mesofauna edáfica foram classificadas por classe/subclasse, ordem e família. A riqueza numérica total do experimento foi de 3519 indivíduos (Tabela 4). As famílias Enchytraeidae e Glossosscolecidae, do Filo Annelida e classe oligochaeta representam a maior parte dos ídivíduos.

Tabela 4 - Classificação da fauna edáfica identificada

Classificação			Média	Desvio padrão	Total
Classe/subclasse	Ordem	Família			
Insecta	Diptera		3,56	4,12	171
	Orthoptera		0,21	0,50	10
	Hymenoptera		4,27	4,84	205
	Coleoptera		2,31	2,38	111
	Dermaptera		1,65	1,71	79
	Hemiptera		0,04	0,20	2
	Blattodea		0,06	0,24	3
	Isoptera		0,02	0,14	1
Arachnida	Araneae		0,19	0,45	9
Chilopoda	Scolopendromorpha		0,15	0,41	7
Malacostraca	Isopoda		6,21	6,85	298
Oligochaeta	Haplotaxida	Enchytraeidae	12,73	15,97	611
		Glossoscolecidae	41,92	25,04	2012

Fonte: Autor

As minhocas (classe Oligochaeta) em geral, são associadas a solos mais férteis e com maior teor de matéria orgânica (KORASAKI, et al., 2017; STEFFEN, et al., 2013), inclusive, com a cobertura vegetal abundante .

Os isópodos ou tatuzinhos de jardim foram o segundo grupo mais abundante observados na macro-fauna. Assim como as minhocas, tratam-se de detritívoros, cuja presença abundante no solo indica maior teor de matéria orgânica (Bugs 2010).

Observou-se insetos herbívoros das ordens Orthoptera (grilos, esperanças e gafanhotos), Hemyptera (percevejos de solo, cigarrinhas, cochonilhas e outros fitófagos), Hymenoptera (formigas cortadeiras), Coleópteras (besouros) e Isopteras (cupins de solo). Também foram observados insetos onívoros das ordens Blattodae (baratas de solo), Dermapteras (tesourinhas), Hymenoptera (formigas doceiras). Alguns carnívoros, como besouros da família *Coccilionidae* (joaninhas) também foram capturados nas armadilhas. Além dos instetos carnívoros capturou-se aranhas e lacraias, que são predadores, indicando uma cadeia trófica equilibrada (RIESKE, BUSS, 2001; CORREIA, 2002; BARBOSA, QUINTELA, 2014).

Quando avaliados os tratamentos (Tabela 5), observou-se diferença significativa para o teste de médias de Tukey a 5% de significância, para a ocorrência de besouros (Coleópteras), sendo que o tratamento T0 (testemunha) diferiu dos tratamentos irrigados, T2 e T3. Considerando que a ocorrência mais frequente, dentre os besouros (47%) foi de indivíduos da família *Escarabeidae*, com hábitos saprófagos (BARBOSA, QUINTELA, 2014), é possível relacionar sua maior ocorrência nos tratamentos T2 e T3, com a quantidade de serrapilheira sobre o solo, que, de acordo com Araujo (2019), foi superior nestes tratamentos.

Também foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos T3 e os demais para minhocas da família *Glossoscolecidae.* Para a família *Enchytraeidae*, observou-se que não houve diferença significativa entre os tramentos T0 eT1 entretanto, estes dois tratamentos diferiram de T2 e T3. Possivelmente a causa desta diferenciação pode estar relacionada com o teor de umidade no solo e com a disponibilidade de nutrientes (NIVA et al., 2010).

As minhocas, são indicativos de qualidade do solo, em relação ao teor de matéria orgânica (KORASAKI, et al., 2017) e pH (MICHEREFF, ANDRADE, MENEZES, 2005), embora, os tratamentos T2 e T3, com maior riqueza destes indivíduos tenham apresentado pH mais ácido e não tenham diferido estatisticamente de T0 em relação à concentração de matéria orgânica.

Para outras classes de artrópodes capturados, não houve diferença significativa entre a riqueza de espécies nos tratamentos T1, T2 e T3 e a testemunha, o que, de maneira geral é um bom indicativo, pois significa que não houve perturbações suficientes no habitat, que provocassem desequilíbrios evidentes. Em contraponto, Jonhson et al. (2018), que avaliou a fauna edáfica sob eucalipto fertirrigado, associou aumento de nutrientes do solo com o aumento da riqueza desta fauna.

Tabela 5 - Estatística exploratória para a mesofauna e macrofauna identificada para (Tratamento 0), 100 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 1), 200 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 2) e 300 m^3ha-1dia-1 (Tratamento T3) e teste de médias de Tukey a 5% de significância.

Variável	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Tukey*	Total
Diptera	0m³ ha ⁻¹ dia	2,50	2,58	a	30
	100m³ ha ⁻¹ dia	6,08	4,66	a	73
	200m³ ha ⁻¹ dia	3,08	5,45	a	37
	300m³ ha ⁻¹ dia	2,58	2,19	a	31
Orthoptera	0m³ ha ⁻¹ dia	0,42	0,79	a	5
	100m³ ha ⁻¹ dia	0,08	0,29	a	1
	200m³ ha ⁻¹ dia	0,17	0,39	a	2
	300m³ ha ⁻¹ dia	0,17	0,39	a	2
Araneae	0m³ ha ⁻¹ dia	0,42	0,67	a	5
	100m³ ha ⁻¹ dia	0,17	0,39	a	2
	200m³ ha ⁻¹ dia	0,17	0,39	a	2
	300m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
Hymenoptera	0m³ ha ⁻¹ dia	3,17	2,73	a	38
	100m³ ha ⁻¹ dia	3,50	3,43	a	42
	200m³ ha ⁻¹ dia	6,67	7,80	a	80
	300m³ ha ⁻¹ dia	3,75	3,42	a	45
Coleoptera	0m³ ha ⁻¹ dia	2,83	2,73	ab	34
	100m³ ha ⁻¹ dia	1,17	1,40	b	14
	200m³ ha ⁻¹ dia	3,92	2,71	a	47
	300m³ ha ⁻¹ dia	1,33	1,37	b	16
Chilopoda	0m³ ha ⁻¹ dia	0,25	0,45	a	3
	100m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
	200m³ ha ⁻¹ dia	0,33	0,65	a	4
	300m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
Dermaptera	0m³ ha ⁻¹ dia	2,00	2,17	a	24
	100m³ ha ⁻¹ dia	1,58	1,44	a	19
	200m³ ha ⁻¹ dia	1,75	1,71	a	21
	300m³ ha ⁻¹ dia	1,25	1,55	a	15
Hemiptera	0m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
	100m³ ha ⁻¹ dia	0,17	0,39	a	2
	200m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
	300m³ ha ⁻¹ dia	0,00	0,00	a	0
	0m³ ha ⁻¹ dia				

Tabela 6 - Estatística exploratória para a mesofauna e macrofauna identificada para (Tratamento 0), 100 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 1), 200 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 2) e 300 m^3ha-1dia-1 (Tratamento T3) e teste de médias de Tukey a 5% de significância. (continuação)

Variável	Tratamento	Média	Desvio Padrão	Tukey*	Total
Blatidae	100m³ ha $^{-1}$ dia	0,00	0,00	a	0
	200m³ ha $^{-1}$ dia	0,08	0,29	a	1
	300m³ ha $^{-1}$ dia	0,00	0,00	a	0
	0m³ ha $^{-1}$ dia	0,17	0,39	a	2
Isoptera	0m³ ha $^{-1}$ dia	0,00	0,00	a	0
	100m³ ha $^{-1}$ dia	0,08	0,29	a	1
	200m³ ha $^{-1}$ dia	0,00	0,00	a	0
	300m³ ha $^{-1}$ dia	0,00	0,00	a	0
Isopoda	0m³ ha $^{-1}$ dia	3,58	4,27	a	43
	100m³ ha $^{-1}$ dia	8,33	8,4	a	100
	200m³ ha $^{-1}$ dia	7,58	7,6	a	91
	300m³ ha $^{-1}$ dia	5,33	6,21	a	64
Glossoscolecidae	0m³ ha $^{-1}$ dia	4,75	3,19	a	57
	100m³ ha $^{-1}$ dia	4,08	4,48	a	49
	200m³ ha $^{-1}$ dia	7,5	4,17	a	90
	300m³ ha $^{-1}$ dia	34,58	18,46	b	415
Enchytraeidae	0m³ ha $^{-1}$ dia	27,83	5,95	a	334
	100m³ ha $^{-1}$ dia	32,50	18,92	a	438
	200m³ ha $^{-1}$ dia	61,58	33,8	a	739
	300m³ ha $^{-1}$ dia	41,75	21,71	b	501

Fonte: Autor

Os índices encontrados nos quatro tratamentos (Tabela 6) de maneira geral, foram elevados em toda a área do experimento, com base nas referências dadas por Odum, (2004). Considerando os resultados do teste de médias de Tukey, pode-se observar diferença significativa entre o tratamento T1 e a testemunha para todos os índices de diversidade avaliados, embora os outros tratamentos, T2 e T3 não tenham diferido da testemunha. Estes índices são influenciados pela diversidade de classes de artrópodes observados em cada parcela, bem como sua abundância (CIVIDANES et al, 2009).

O emprego de índices de diversidade muitas vezes é restrito a situações comparativas. Podemos usar o Índice de Shannon para dizer que a comunidade A é mais diversa do que a comunidade B. Entretanto, o valor do índice em si é algo abstrato e difícil de se interpretar (MELO, 2008). Assim, podemos dizer que, o tratamento T1, em comparação com os outros tratamentos apresenta maior diversidade de espécies, embora este tratamento não difira significativamente de T2 e T3.

Tabela 7 - Médias dos Índice de riqueza de Margalef, Índice de dominância de Simpson, Índice de Diversidade de Shannon-Wiener, Índice de equabilidade de Pielou para as taxas de irrigação de 0 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 0), 100 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 1), 200 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 2) e 300 m^3ha-1dia-1 (Tratamento T3) e testes comparativos de médias de Tukey.

Índice	Tratamento	Média	Desvio padrão	Tukey (1)
Shannon-Wiener	0m^3 ha $^{-1}$ dia	1,88	0,27	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	1,51	0,55	b
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	1,81	0,26	ab
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	1,69	0,28	ab
Simpson	0m^3 ha $^{-1}$ dia	0,76	0,11	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	0,59	0,19	b
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	0,71	0,09	a
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	0,71	0,12	a
Margalef	0m^3 ha $^{-1}$ dia	3,25	0,74	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	2,32	0,94	b
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	2,93	0,63	ab
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	2,78	0,99	ab
Pielou	0m^3 ha $^{-1}$ dia	0,87	0,07	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	0,72	0,23	b
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	0,83	0,11	ab
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	0,87	0,12	a

Nota: (1) Teste de comparação de médias Tukey 5% de significância; *Diferença significativa a 5% de significância entre a média do tratamento e média da testemunha.

Fonte :Autor

Para o índice de dominância de Simpson, estes dados representam a possibilidade de dois indivíduos escolhidos ao acaso pertencerem a mesma espécie (URAMOTO, et al., 2005). O tratamento testemunha (T0) apresenta o índice de Simpson mais alto do que os outros tratamentos, isso representa maior dominância de determinada espécie e, consequentemente, uma possível menor diversidade.

Em contrapartida, o tratamento T1 apresenta o menor valor para o índice de Simpson, corroborando o resultado obtido na análise do índice de diversidade de Shannon o que pode ser explicado pela maior concentração de matéria orgânica encontrada nas amostras deste tratamento (Tabela 3). Caproni, et al., (2015) comparando áreas de mata primária, cultivo de seringueira e sistema agroflorestal, para avaliar a riqueza, diversidade e densidade da macrofauna, observaram que o índice de Simpson apresentou maior dominância, principalmente para a ordem Isoptera, na área de mata nativa e seringal. Os autores também atribuíram este fato à maior quantidade de material vegetal depositado sobre o solo.

Para o índice de equabilidade de Pielou, os valores próximos de 1, representam comunidades com distribuição mais homogênea em relação aos grupos de indivíduos, sendo que o valor máximo representa a situação em que todas as espécies possuem a mesma abundância (MAGURRAN, 1988). Esse índice refere-se aos indivíduos e seu padrão de distribuição entre os grupos, fornecendo informações sobre a uniformidade e proporções entre as espécies que formam determinada comunidade (CATANOZI, 2011). Neste sentido, os resultados apresentados na Tabela 6 demonstram que os tratamentos T0 e T3 possuem maior equabilidade na distribuição de indivíduos por espécie e T1 a menor equabilidade. Este fato se deve à grande diversidade de espécies encontrada nas

amostras de T1, entretanto, com poucos indivíduos capturados em alguns grupos, como Isópteras e Hemyptera, por exemplo (Tabela 4).

O índice de Margalef é uma medida utilizada em ecologia para estimar a biodiversidade em uma comunidade, com base na distribuição numérica dos indivíduos das diferentes espécies, em função do número total de indivíduos existentes na amostra (SOUTHWOOD, 1995). Quanto maior o seu valor, maior a riqueza de espécies em uma amostra. Como referência de análise, utilizou-se o critério descrito por Richter et al. (2012), que determina que, valores inferiores a 2 caracterizam baixa diversidade e acima de 5 alta diversidade.

O índice de Margalef mais alto observado neste estudo, foi o do tratamento T0 (testemunha), com valor de 3,25, considerado, de acordo com o critério adotado, como intermediário. Os outros tratamentos apresentaram também valores intermediários e T2 e T3 não diferiram estatisticamente de T0. Isto pode ser entendido como baixa alteração ambiental em função das taxas mais altas de irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves.

Foi observado maior contagem total de coliformes a 35º C e *E. Coli* para o tratamento T1 (Tabela 7) . Assim como os índices ecológicos e a riqueza de espécies, este fato pode estar relacionado com a maior quantidade de matéria orgânica observada nas parcelas deste tratamento (Tabela 2), que podem favorecer as condições ambientais para a sobrevida e proliferação destes microorganismos (MATOS et al, 1997).

Tabela 8 - Médias, desvios-padrão e testes de médias de Tukey para Coliformes a 35º C e E. Colli, nas taxas de irrigação de 0 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 0), 100 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 1), 200 m^3ha-1dia-1 (Tratamento 2) e 300 m^3ha-1dia-1 (Tratamento T3)

Variável	Tratamento	Média	Desvio padrão	Total	Tukey
Coliformes a 35º C	0m^3 ha $^{-1}$ dia	438	338,0	1750,0	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	605	964,0	2420,0	a
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	567	333,0	1700,0	a
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	170	120,4	850,0	a
E. colli	0m^3 ha $^{-1}$ dia	2,5	5,0	10,0	a
	100m^3 ha $^{-1}$ dia	0	0,0	0,0	a
	200m^3 ha $^{-1}$ dia	16,7	28,9	50,0	a
	300m^3 ha $^{-1}$ dia	0	0,0	0,0	a

*Valores em UFC por grama

Fonte: Autor

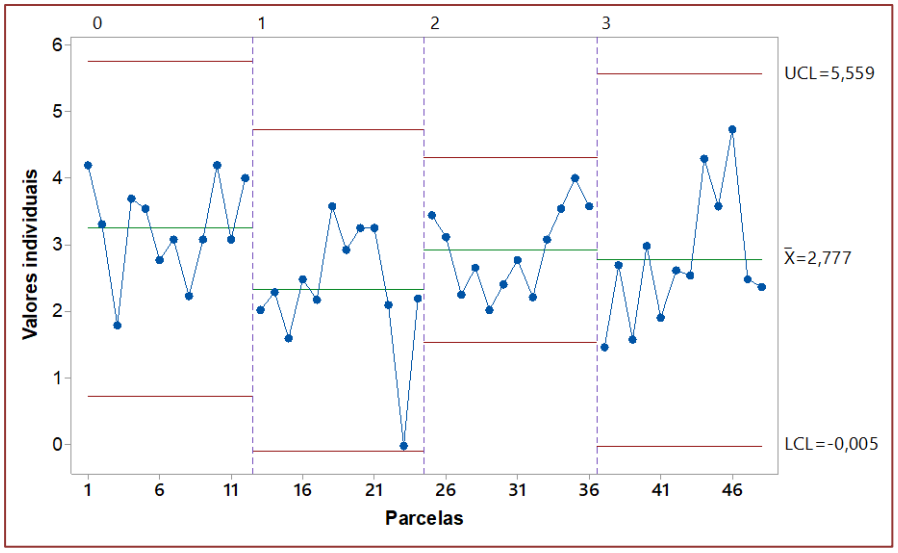
Não houve diferença estatística entre os tratamentos T1, T2 e T3 e a testemunha, tanto em relação aos coliformes totais, quanto aos *E. Colli*. Isto indica que o efluente não provocou aumento destes organismos contaminantes no solo, em proporções diferentes às observadas nas parcelas não irrigadas. O efluente de abatedouros pode ser um vetor de contaminação do solo por coliformes, entretanto, entende-se pelos resultados obtidos na análise de solo, que não houve impacto significativo com a irrigação, mesmo nas maiores taxas testadas (BERTONCINI, 2008; OLIVEIRA, SÁ, 2015)

Os dados corroboram com os resultados obtidos por Morais, et al., (2016), que analisaram a população de coliformes totais, termotolerantes e *Salmonella* presentes em solo irrigado com efluente doméstico. A técnica utilizada foi do Número Mais Provável por 100 g^{-1} (NMP

100 g^{-1}) para coliformes totais e para os termotolerantes (CTe). Para o isolamento da *Salmonella spp*, utilizou-se a técnica de concentração por membrana filtrante, de 42 mm de porosidade por 142 mm de diâmetro. Não foram encontrados no solo irrigado valores significativos para da salmonella e também não foi observada a presença de *E. Coli*, considerando uma população menor que 3,0 NMP g^{-1}.

O índice de Margalef representa a riqueza específica de espécies, ou seja, refere-se ao número total de indivíduos. Observou-se que, a variação em torno da média deste índice, variou menos no tratamento 2 (Figura 6), portanto, infere-se que neste tratamento o número total de espécies estava distribuído de forma mais homogênea entre as amostras.

Figura 6: Gráfico de Shewhart para o índice de Margalef

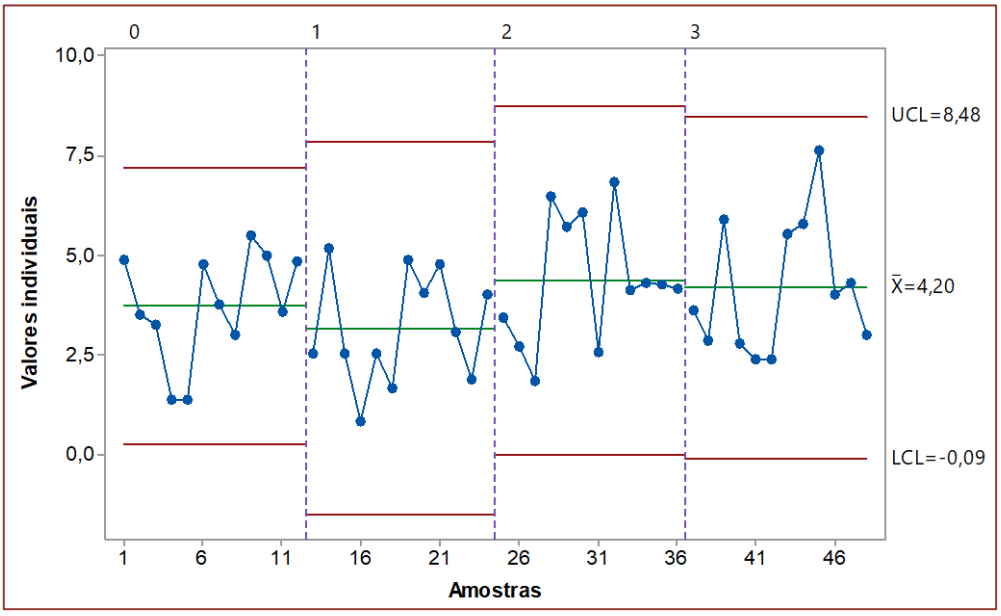


Fonte: Autor

É possível observar um ponto próximo do limite de controle inferior no tratamento 1. Considerando que foi um único desvio, a ocorrência deste ponto pode estar relacionada com alguma causa especial, referente a variações nos fatores ambientais, como um vazamento do sistema de irrigação da parcela na qual se observou o desvio, ou até mesmo, à própria localização da armadilha. Neste caso, esta observação serve como um alerta ao monitoramento mais detalhado e investigação do histórico de operação nesta parcela. Como não foram observadas tendências na ocorrência dos valores individuais, nem dentro dos tratamentos, nem entre eles, acredita-se que as condições impostas não afetaram a riqueza específica nas amostras.

É apresentado na Figura 7, o gráfico de Shewhart para valores individuais, para o índice ecológico de Shannon-Wiener. Para cada tratamento, calculou-se os limites superior e inferior e a média. Não foi observado nenhum ponto fora dos limites estabelecidos de controle (±3σ em relação à média). Considerando que não há uma tendência em relação ao comportamento das curvas dos tratamentos, pode-se deduzir que estas variações não são decorrentes de uma causa especial (MONTGOMERY, 2016), ou seja, são inerentes às variações aleatórias do processo ou seja, variações que ocorrem naturalmente na fauna edáfica. Porém, os valores obtidos para este índice podem variar muito de acordo com o tipo de área estudada (AZAMBUJA, et al., 2007).

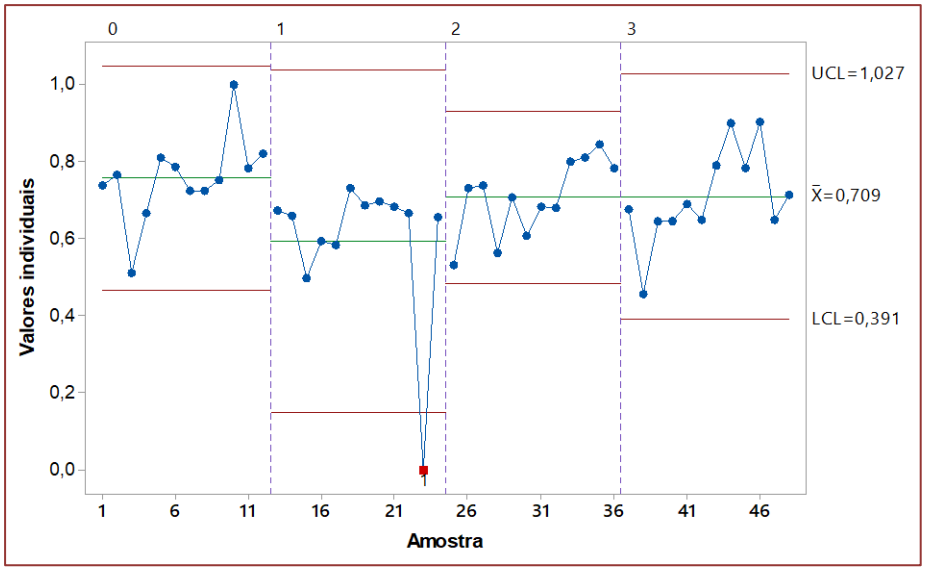
Figura 7: Gráfico de Shewhart para o índice de Shannon Wienner



Fonte: Autor

Para o índice de Simpson (Figura 8), observou-se um ponto fora do limite inferior de controle, o mesmo observado como desvio no gráfico do índice de Margalef. Entretanto, o comportamento dos demais pontos não fornece indícios de variações por causas especiais, ou seja, comparativamente com o tratamento testemunha e avaliando a distribuição dos valores individuais, não pode-se afirmar que os tratamentos tenham influenciado a variação da dominância de espécies nas parcelas.

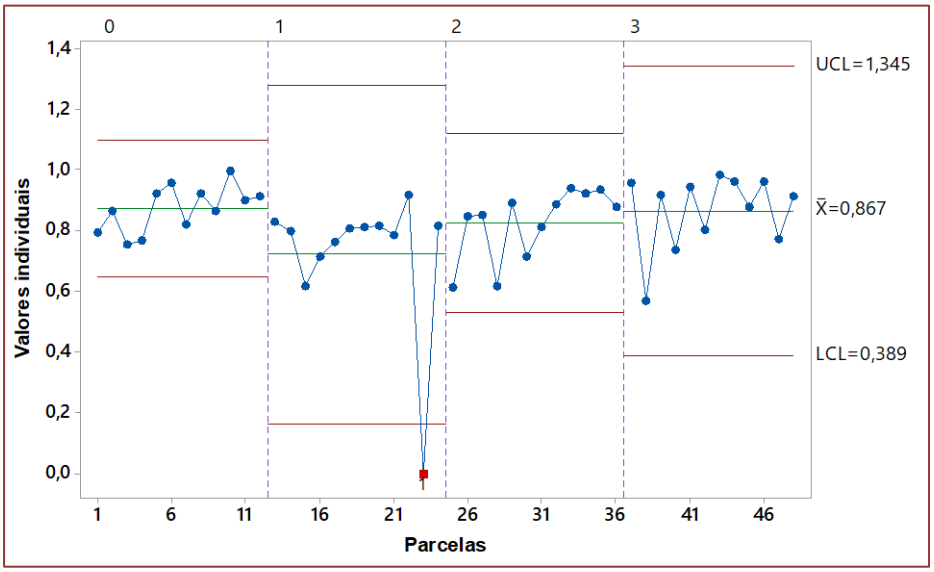
Figura 8 Gráfico de Shewhart para o índice de Simpson



Fonte: Autor

Sobre a equabilidade das espécies, avaliada pelo índice de Pielou (Figura 9), observou-se pela distribuição dos valores individuais do gráfico de Shewhart, que o tratamento testemunha apresentou menor variação em torno do limite central (média). Isto sugere que, embora a riqueza (Margalef) e dominância de espécies (Simpson) não tenham apresentado amplitudes de variação muito diferente entre os tratamentos, a uniformidade da ocorrência das espécies pode ter sido afetada por eles.

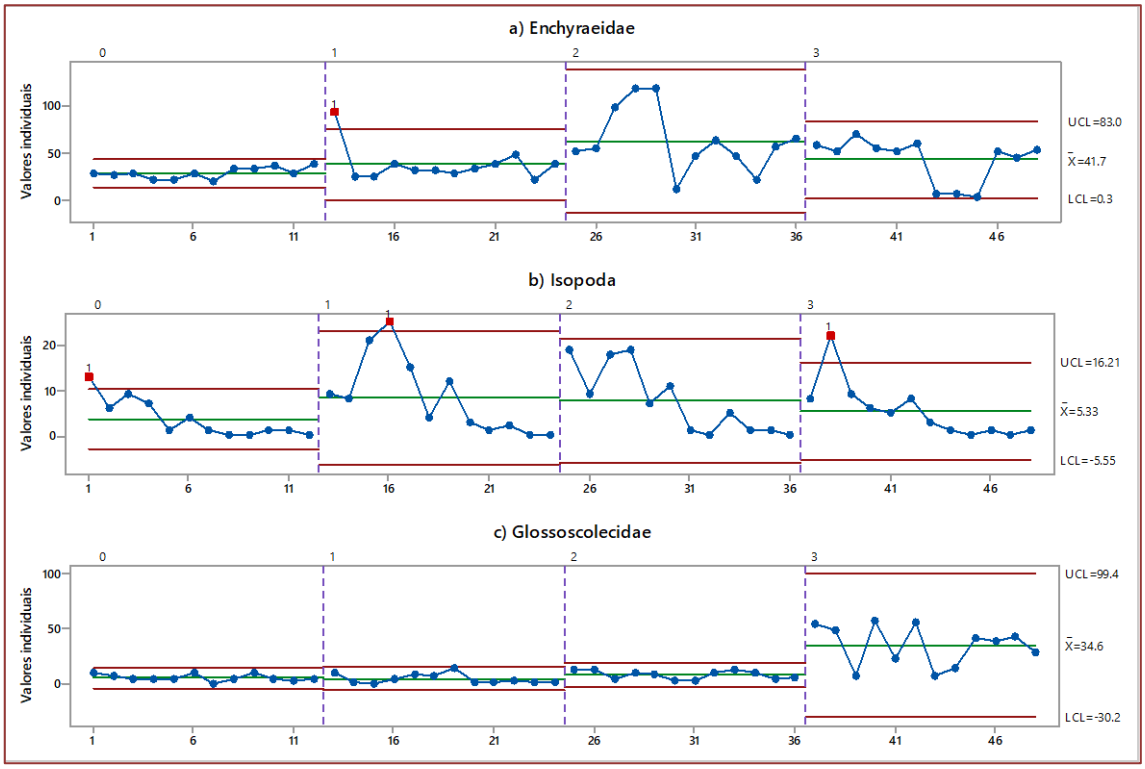
Figura 9 Gráfico de Shewhart para o índice de Pielou



Fonte: Autor

Em relação à ocorrência de Isópodas (Figura 10 - b), observa-se que tendência, para os 4 tratamentos, de decréscimo nos valores individuais observados (número total de indivíduos) em função das observações. Esta tendência, revela uma ocorrência destes artrópodes relacionada com o local da coleta, mais concentrados nas parcelas de 1 até 10 do que nas parcelas de 11 a 16. Isto pode estar associado a maior disponibilidade de água ou de matéria orgânica no solo nesta região, muito embora, a homogeneidade do comportamento da distribuição dos indivíduos corrobore a aleatoriedade dos dados (comportamentos semelhantes das curvas).

Figura 10 Gráfico de Shewhart para os números de indivíduos dos bioindicadores (a) Enquitreídeos (b) Isópodas, (c) Glossoscolecidae, considerando os 4 tratamentos aplicados: taxas de aplicação de efluentes de (0) 0 m^3ha-1dia-1, (1) 100 $m^3ha^{-1}dia^{-1}$, (2) 200 $m^3ha^{-1}dia^{-1}$ e (3) 300 $m^3ha^{-1}dia^{-1}$.



Fonte: Autor

Para a ocorrência das minhocas (Figura 10-c), observa-se uma relação entre o aumento da média e também da dispersão dos dados no tratamento 3 (300 $m^3ha^{-1}dia^{-1}$). Este fato pode estar associado ao condicionamento do solo para esta classe de animais em função da introdução de água e matéria orgânica no solo.

Já para os Enquitreídeos, as observações com maior média e dispersão dos dados ocorreram para o tratamento 2 (200 $m^3ha^{-1}dia^{-1}$), o que pode estar associado, além dos níveis ótimos para a ocorrência de (*Oligochaetas Enchytraeidae)* neste tratamento, com o aumento da acidez potencial, sobretudo no tratamento 3, o que explicaria médias menores deste tratamento do que no tratamento 2.

Avaliando o comportamento dos valores individuais, bem como dos indicadores calculados é possível dizer que os enquitreídeos respondem de forma negativa em ambientes com solos antropizados, demonstrando uma possibilidade de sua utilização como bioindicadores de qualidade do solo (ALEXANDRE, et al., 2018; ASSIS, et al., 2015).

A capacidade de processos é baseada na média, que é uma medida de posição, e no desvio padrão que é a medida da dispersão do processo. A performance do processo é a amplitude que corresponde a 99,73% da variação total do processo. Portanto, se a amplitude dos dados permanecer no intervalo compreendido nestes 99,73%, apenas 0,27% dos dados estará fora das especificações (PORTAL ACTION, 2014; MONTGOMERY, 2016).

Os índices só podem ser estabelecidos para um processo estável ao longo do tempo, ou seja, sob controle. Portanto os índices PPL (Índice de Performance Inferior) e CPL (Índice de Capacidade Inferior) são definidos quando os dados seguem uma distribuição normal. Para o conjunto de dados avaliados procedeu-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com resultado normal para todos os indicadores.

A maioria das empresas adotam como critério para a avaliação de CP e PP, o valor de 1,33, sendo que, valores superiores a este, podem configurar processos estáveis e com variação controlada (JURAN; GRYNA, 1980). Considerando que as variáveis biológicas, apresentam controle sensivelmente mais complexo do que os processos industriais, os índices de PPL e CPL obtidos (Tabela 8) podem ser considerados muito altos. Foram todos superiores a 1,33 com exceção do índice de Margalef, cujo resultado de PPL foi 1,07 e CPL 1,11, ainda assim, considerados estáveis pelo critério de Montgomery (2016), que considera o valor de 1,0 como referência.

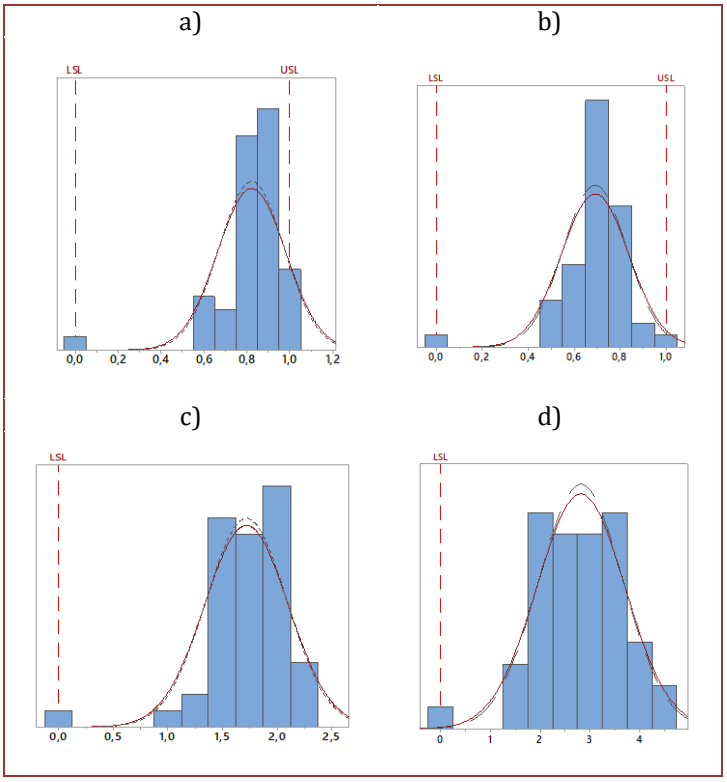
Tabela 9 Índices de capacidade de processo e performance para dados normais dos índices biológicos

Índice	PPL	CPL
Shannon-Wienner	1,50	1,55
Simpson	1,57	1,66
Margalef	1,07	1,11
Pielou	1,73	1,80

Fonte: Autor

Com base no PPL alto (superior a 1,33), o índice de dispersão foi pequeno em relação a variação total permitida, ou seja, o processo é controlado. No caso dos indicadores significa que não houve dispersão suficiente (Figura 11) entre os tratamentos para caracterizar um desvio de processo. Portanto, os tratamentos irrigados mantém a mesma qualidade em relação aos indicadores ecológicos que a testemunha.

Figura 11 Gráficos de capacidade de processos para os índices de Pielou (a) Simpson (b) Shannon-Wienner (c) Margalef (d)



Fonte: Autor

Procedeu-se a análise de correlação de Pearson (Tabela 8), que resultou em altas correlações (BISQUERRA; SARRIERA; MARTÍNEZ, 2004) entre o número de indivíduos de Oligocheatas e as taxas de efluentes aplicadas ao solo (0,819) e de número de Enquitreídos e estas mesmas taxas (0,602).

Isto significa que quanto maior foi a taxa de irrigação aplicada, maior foi a quantidade de Oligochaetas e Enquitreídeos encontrada no solo. Esta correlação pode ser explicada pelo aumento da umidade do solo, já que uma maior umidade proporcionaria a melhor condição para sobrevivência das Oligochaetas (FERRAZ, GUERRA, 1983). Além da umidade o enriquecimento nutricional do solo com o P e N presentes no efluente pode ter influenciado a proliferação das Oligochaetas (FIUZA, 2009).

Tabela 10 Análise de correlação de Pearson para avaliação de correlação entre os bioindicadores, taxa de aplicação de efluente e propriedade do solo

	Taxa de apli.	Isópodo	Oligocheata	Enquitreídeos	Fósforo	Matéria orgânica	Ph	Acidez potencial
Taxa de apli.	1,000							
Isópodo	0,268	1,000						
Oligocheata	**0,819**	-0,249	1,000					
Enquitreídeos	**0,602**	0,566	0,084	1,000				
Fósforo	0,439	**0,825**	0,158	0,223	1,000			
Matéria orgânica	0,280	**0,735**	0,098	0,001	0,974	1,000		
pH	-0,562	-0,059	-0,258	**-0,856**	0,246	0,459	1,000	
Acidez potencial	0,644	-0,448	**0,966**	-0,161	0,022	0,01	-0,08	1,000

Fonte: Autor

Também foi observada alta correlação entre o número de Oligochaetas e a acidez potencial do solo (0,966). A acidez potencial do solo é o somatório dos íons livres de hidrogênio e alumínio (CAMPOS et al., 2017). Oliveira e Santos (2009) também correlacionaram positivamente presença deste anelídeos à acidez potencial do solo. O aumento da matéria orgânica no solo devido ao acúmulo de coprólitos pode ter influenciado o aumento da acidez ativa (redução do pH) e da acidez potencial (aumento dos íons livres de alumínio) (BROWN, JAMES, 2007). Esta associação é descrita por Malavolta (2006), que afirma que a matéria orgânica pode fornecer íons livres de H^+ ao passo que imobilizam os íons livres de Al^{3+}.

A ocorrência de Enquitreídos apresentou correlação negativa muito alta com (-0,856) com o pH, o que significa que quanto mais básico o solo, menor a ocorrência deste bioindicador. Por outro lado, o aumento do pH pode estar relacionado com o consumo da matéria orgânica e deposição de coprólitos por estes indivíduos. A acidez devida ao pH, e ao teor de Al^{3+} são menores nos coprólitos que no solo adjacente, seja em áreas de floresta secundária, seringal de cultivo ou pastagem (FIUZA, 2009)

Em relação aos Isópodas, observou-se correlação muito alta com a concentração de fósforo no solo (0,825) e alta correlação com a concentração de matéria orgânica (0,735), Isso indica que este artrópode tende a viver em áreas de solos mais férteis, pois os isópodos respondem positivamente à adição de matéria orgânica ao solo (LOUREIRO *et al.,* 2006).

A relação da ordem isopoda com a concentração de matéria orgânica também pode foi verificada por Vasconcellos et al., (2015) em área de mata preservada. Isso, segundo o autor decorre das condições favoráveis no ambiente, como temperatura, umidade, quantidade e qualidade de matéria orgânica para o desenvolvimento dos isopodas terrestres, além da sua preferencia pela serapilheira.

Boelter et al. (2009) também descrevem que os isopodas tem preferência por matéria orgânica com 3 e 4 meses de decomposição, destacando que a ordem isopoda complementa sua dieta com folhas verdes, em decorrência da variada composição dos resíduos vegetais.

4. CONCLUSÕES

A relação entre a fauna edáfica e o solo está diretamente ligada as condições do ambiente, ou seja, um ambiente em equilíbrio proporciona maior diversidade e riqueza de espécies, além da melhora dos parâmetros do solo com o aumento de matéria orgânica e outros nutrientes. Dessa forma, o monitoramento e uso da macrofauna e mesofauna por meio de ferramentas de controle estatístico de qualidade aplicadas aos índices de biodiversidade, mostrou-se eficaz na comparação dos efeitos da irrigação com efluente industrial tratado de abatedouro de aves sobre o solo. Sua associação e avaliação através de técnicas estatísticas, como os gráficos de Shewhart, abre possibilidades para sua utilização e replicação em outros experimentos.

REFERÊNCIAS

[1] ALEXANDRE, D.; MACHADO, J.S.; KRAFT, E.; GOULART, M.M.; FILHO, O. K. Diversidade de enquitreídeos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. XII Reunião Sul Brasileira de Ciência do Solo. Xanxerê, 2018.

[2] ANDERSON, J.M.; INGRAM, J.S.I. Tropical Soil Biology and Fertility: a Handbook of Methods. 2ª ed. **CAB International**, Wallingford, 1993.

[3] ASSIS, O.; RAMSDORF, W.A.; BROWN, G.G.; BARTZ, M.L. C.; MORAIS, R.S.; NIVA, C.C. O Uso de Enquitreídeos (Oligochaeta, Enchytraeidae) como Bioindicadores em Solo de Cultivo Orgânico e Convencional. **ELAETAO**, 5º Encontro Latino Americano de Ecologia e Taxonomia de Oligoquetas, Curitiba, 2015.

[4] ABPA – Brazilian Association of Animal Protein. Annual Report. São Paulo, 2017.

[5] ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, Regina T.R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

[6] ARAUJO, I. R. C.; SAMPAIO, S. C.; PAZ-GONZALEZ, A.; VILAS-BOAS, M. A.; JUNIOR, A. C. G.; SZEKUT, F.D. Reforested soil under drip irrigation with treated wastewater from poultry slaughterhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.23, n.6, p.439-445, 2019.

[7] ARAUJO, I.R.C.; MORAIS, J.; SAMPAIO, S.C.; LADO-LIÑARES, M.; PAZ-GONZÁLEZ, A. Efeitos da disposição de efluente tratado de abatedouro de aves em florestas plantadas,
VIII Congreso sobre Uso y Manejo del Suelo; Libro De Resúmenes ; UMS 2018; 2018 A Coruña, España.

[8] BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; SEGAT, J.C.; GEREMIA, E.V.; OLIVEIRA FILHO, L. C.L.; ALVES, M.V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBER FILHO,O.; MAFRA, A.L.; GABITONI, L.C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v.7, p.141-192.

[9] BARETTA, D.; TESTA, M.; ROCHA, E.; BARTZ, M.L.C. Abundância de Espécies de Minhocas em Sistemas de Uso e Manejos do Solo em Quatro Microrregiõs de Santa Catarina. **25º SIC UDESC, Seminário de Iniciação Científica**, Universidade Estadual de Santa Catarina, 2015.

[10] BARETTA, D.; et. al; Colêmbolos (hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia. Ciência do Solo, v. 32, n. 1, p. 2693–2699, 2008.

[11] BARROS, R.S.M., 2007. Medidas de Diversidade Biológica. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais – PGECOL. Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF. Juiz de Fora, MG, 13p

[12] BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

[13] BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária,** Campinas, 2008.

[14] BISQUERRA, R.; SARRIERA, J. C. & MARTINEZ, F. Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS. Porto Alegre: Artes Médicas (2004).

[15] BOELTER, J. F. et al. The feeding rates and preferences of a neotropical terrestrial isopod (Oniscidea). Nauplius, v. 17, n. 2, p. 107-113, 2009.

[16] BERTINI, S. B. Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em Florestas de Araucária no Estado de São Paulo. **Microbiologia**, 2010.

[17] BUGS, P.S. Ocorrência e Distribuição de Isopodos terrestres (Crustacea:Oniscidae) em três ambientes florestais na Serra Geral, Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

[18] BROWN, G.G.; DOMÍNGUEZ, J. Uso das minhocas como bioindicadoras ambientais: princípios e práticas – o 3º encontro latino americano de ecologia e taxonomia de oligoquetas (elaetao3). **Acta Zoológica Mexicana** (n.s.) Número Especial 2, 2010.

[19] BROWN, G.G. E JAMES, S.W. (2007) - Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: Brown, G.G. e Fragoso, C. (Ed.) - **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e ecologia**. Londrina, Embrapa Soja, p. 297-381.

[20] CATANOZI, G. Importância Dos Aspectos Ecológicos Na Análise Qualiquantitativa Da Macrofauna Edáfica. **Rev. Ibirapuera**, São Paulo, n. 1, p. 42-52, jan./jun. 2011.

[21] CAPRONI, A. L.; GRANHA, J. R. D. O.; SOUCHIE, E.L.; FIGUEIRA, A.F.; OLIVEIRA, A. N. S. DIVERSIDADE DA MACROFAUNA DO SOLO EM ECOSSISTEMAS NO MUNICÍPIO DE ROLIM DE MOURA, RO.

GLOBAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2015.

[22] CIVIDANES, F.J.; BARBOSA, J.C.; MARTINS, I.C.F.; PATTARO, F.; NUNES, M.A.; SANTOS, R.S. Diversidade e Distribuição Espacial de Artrópodes Associados ao Solo em Agroecossistemas. **Fitossanidade.** Bragantia, Campinas, v.68, n.4, p.991-1002, 2009.

[23] CORREIA, M. E. F. Potencial de utilização dos atributos das comunidades de fauna do solo e de grupos chave de invertebrados como bioindicadores no manejo de ecossistemas. **Embrapa Agrobiologia.** Seropédica, RJ, 2002.

[24] CORREIA, M.E.F.; AQUINO, A.M.; AGUIAR-MEZES, E.L. Aspectos Ecológicos dos Isopoda Terrestres. **Embrapa Agrobiologia.** Seropédica, RJ, 2008.

[25] COSTA, S.L.N.; ARAUJO, P.B.; GUERRA, T. O tatuzinho-de-jardim como auxiliar na educação ambiental: o papel ecológico dos isópodos terrestres e suas relações com as plantas. **REMEA - REVISTA ELETRÔNICA DO MESTRADO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL.** UFRGS, Porto Alegre, 2015.

[26] COSTA SILVA, V.; CIPOLATTO, R. P.; ABEGG, A. D.; ROSA, C. M.; SILVA, P. G.; DI MARE, R. A. Escarabeídeos (Coleoptera: Scarabaeidae) de campo e floresta da Reserva Biológica de São Donato, Rio Grande do Sul, Brasil. **Biotemas**, v. 27, n. 4, p. 6371, 2014.

[27] CAMPOS, D.V.B.; TEIXEIRA, P.C.; PEREZ, D.V.; SALDANHA, M.F.C. Acidez potencial do solo. Manual de métodos de análise de solo, Embrapa, 2017.

[28] EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 2018.

[29] FREITAS, D. A. F. et. al, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 3, p. 417–428, 2012.

[30] FRIGUETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Indicadores Biológicos e Bioquímicos da Qualidade do Solo, 2000.

[31] FERRAZ, J.A.N.; GUERRA, R. T. Estudo preliminar da influência da umidade do solo sobre a reprodução de pontoscolex corethrurus. **ACTA AMAZÔNICA** 13(2) : 289-297. 1983.

[32] FIUZA, S.S. Ecologia de Chibui bari (annelida: oligochaeta) e atributos físicos, químicos e biológicos de seus coprólitos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2009.

[33] JURAN, J. M. & GRYNA, F. M. Quality planning and analysis. McGraw-Hill: New York, 1980.

[34] KORASAKI, V.; FERREIRA, R.S.; CANEDO-JUNIOR, E.O.; FRANÇA, F.; AUDINO, L.D. Macrofauna. **Conhecendo a Vida no Solo.** Editora UFLA, vol.2, Lavras, MG. 2017.

[35] LOUREIRO, S.; SAMPAIO, A.; BRANDÃO, A.; NOGUEIRA, A.J.A.; SOARES, A. Feeding behaviour of the terrestrial isopod *Porcellionides pruinosus* Brandt, 1833 (Crustacea, Isopoda) in response to changes in food quality and contamnation. **Science of Total Environment,** v.369, p.119-128, 2006.

[36] MAGURRAN, A. E. Ecological Diversity and Its Measurement. Princeton, NJ: Princeton University Press, (1998).

[37] MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N.; FREITAS, S.P.; VIDIGAL, S.M.; GARCIA, N.C.P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejeto líquido de suínos. **Revista Ceres**, 1997.

[38] MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. **Manual de Legislação – Programa Nacional de Sanidade Avícola.** Brasília, 2017. p. 171241. Disponível em:http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/saude-animal/arquivos-das-publicacoes-de-saude-animal/manual-de-legislacao-saude-animal-low.pdf/view Acesso em: 23/03/2018.

[39] MAPA–Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 62, de 26 de agosto de 2003. https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-sda-62-de-26-08-2003,665.html>. Acesso em 25 de outubro de 2018.

[40] MORAIS, J. W. de; OLIVEIRA, F. G. L.; BRAGA, R. F.; KORASAKI, V. Mesofauna. In: MOREIRA. F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). **O ecossistema solo:** componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal. Lavras: Editora da UFLA, p. 185-200. 2013.

[41] MORAIS, M.A.; NETO, M.F.; SILVA, G.F.; LIRA, R.B.; BRITO, R.F.; MIGUEL, L.C.V. Contaminação

Microbiológica no Perfil do Solo por Águas Residuárias. **HOLOS**, Ano 32, Vol. 3, 2016.

[42] MORAIS, J.; Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves, Dissertação de mestrado do Programa de Engenharia Agrícola; Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 87p., 2017.

[43] MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. **Ceres**, São Paulo, 2006.

[44] MELO, R. P.; ALBIERO, D.; PRACIANO, A. C.; CAVALCANTE, E. S.; FERNANDES, F. R. B. Análise do controle de qualidade de um terraceador trabalhando em um argissolo vermelho amarelo. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 2, p. 210–216, 2016.

[45] MENDES, I. C.; et. al. Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade? **Documentos**, 246, v. 1, p. 32, 2009.

[46] MICHEREFF, S. J.; ANDREDE, D. E. G. T.; MENEZES, M. Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais. UFRPE, Recife - PE 2005.

[47] MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 528p.

[48] MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MARIA ELIZABETH F. CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **Rev. Bras. Solo** vol.29 nº4 Viçosa July/ August 2005.

[49] NIVA, C.C.; CEZAR, R.M.; FONSECA.P.M.; ZANGATTO, M.R.G.; OLIVEIRA, E.M.; BUSH, E.F.; CLASEN, L.A.; BROWN, G.G. Enchytraeid abundance in Araucaria Mixed Forest determined by cold and hot wet extraction. **Brazil Journal of Biology.** vol.75 no.4 supl.1 Epub Nov 24, 2015, São Carlos, São Paulo.

[50] NIVA, C.C.; RÖMBKE, J.; SCHMELZ, R.M.; BROWN, G.G. Enquitreídeos (Enchytraeidae, Oligochaeta, Annelida).. **Manual de Biologia dos Solos Tropicais**, Editora UFLA, 2010.

[51] NUNES, J. S. Atributos Biológicos do Solo de Áreas em Diferentes Níveis de Degradação no Sul do Piauí. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Bom Jesus - PI, 2010.

[52] ODUM, E.P. Fundamentos da ecologia. Fundação Calouste Gulbenkian, 6ª ed. São Paulo, 2004.

[53] OLIVEIRA, E.M.; SANTOS, M.J. Influência das minhocas sobre as características químicas de composto, vermicomposto e solo. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 074-081, jan/abr 2009.

[54] OLIVEIRA, M. A.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T. M. C. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**. 2014;61:800-807. doi:10.1590/0034-737X201461000005.

[55] OLIVEIRA, C.S.; SÁ, O. R. Avaliação da eficiência do tratamento de efluentes em um abatedouro do município de Passos, MG, Brasil. **Ciência et Praxis** v. 8, n. 16, 2015.

[56] RIESKE, L.K.; BUSS, L.J. Influence of site on diversity and abundance of grouns-and litter-dwelling Coleoptera in Appalachian Oak-Hickory forests. **Environmental Entomology**, v.30, p.484-494, 2001.

[57] RICHTER C, PEITER MX, ROBAINA AD, SOUZA ARC, FERRAZ RC, DAVID AF. Levantamento da arborização pública de Mata/RS. **RevSbau**; 7(3): 88-96. 2012.

[58] SOUTHWOOD, T.R.E. Ecological methods: With particular reference to the study of insect populations. **Chapman & Hall**, 2. ed.: 524 p., London, England, 1995.

[59] SILVA, K.; SILVE JÚNIOR, B.; BATISTA, M.J.; OLIVEIRA, R.; SANTOS, D. B., BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa – MG, v. 60, n. 3. P. 339-346, 2013.

[60] STEFFEN, G.P.K.; ANTONIOLLI, Z.I.; STEFFEN, R.B.; JACQUES, R.J.S. Importância ecológica e ambiental das minhocas. **Revista de Ciências Agrárias**, 2013, 36(2): 137-147. Lisboa, Portugal.

[61] SANTOS, V. M.; MAIA, Leonor C. Bioindicadores De Qualidade Do Solo. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, v. 10, p. 195–223, 2013. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/viewFile/397/349>.

[62] SANTOS, I.J.; SOUZA, G.F.; SOUZA, C.A.; SANTOS, M.E.T.; CASTRO, M.S.; NUNES, F.O. Identificação De Invertebrados Como Bioindicadoes De Qualidade De Solo No Centro De agroecologia Rio Seco, Amélia Rodrigues, Bahia. **III Simpósio de Agroecologia da Bahia (SAB)** V. 2 1, p.38, 2017, Serrinha, Bahia.

[63] SILVA, J. JUCKSCH, I. FERES, C.I. M. A. TAVARES, R. C. **Soil Faunal in Management Systems with Coffee.** Journal of Biotechnology and Biodiversity. v. 3, N.2: pp. 59-71, May. 2012,

[64] URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Análise Quantitativa e Distribuição de Populações de Espécies de Anastrepha (Diptera: Tephritidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology** 34(1):033-039, 2005.

[65] VASCONCELLOS, N.J.S.; SILVA, R.F.; BINS, F.H.; SILVA, B.L. Reservas legais: um importante refúgio para os isópodas terrestres em áreas agrícolas. **Revista Ambiente & Água,** volu.10, no.3, Taubaté July/September, 2015.

Capítulo 5

Economia circular com enfoque em resíduos alimentares: a utilização de inteligência artificial e blockchain

Hermenegildo Almeida Chingamba
Geneci Ribeiro Rocha

Resumo: 9 bilhões de pessoas é a estimativa que o mundo vai ter até 2050, a demanda por variedade de produtos e serviços será grande pelo fato de termos um acréscimo de mais de 3 bilhões de pessoas, deste modo o modelo econômico linear vigente é insustentável para garantir as condições necessária ambiental, econômica e sociais para as próximas gerações. Neste estudo, objetivamos analisar a convergência entre tecnologia blockchain e inteligência artificial no descarte de resíduos alimentares em um sistema de economia circular (EC) e seu impacto nos blocos de construção da (EC) para reutilização efetiva, eficaz, eficiente dos resíduos de alimentos. Para este fim, o estudo trata-se de revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa, conduzida a partir de fontes secundárias obtidas de periódicos internacionais. O estudo foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico e análise de artigos publicados nos últimos 5 anos. Portanto, percebe-se que as tecnologias blockchain e inteligência artificial estão em alta quando o assunto é EC, isto devido à sua contribuição como facilitadores e auxiliadores na transição para EC. As tecnologias geram um grande impacto no aproveitamento dos resíduos alimentares dentro do bloco de construção da EC. Uma vez que a eficiente, eficaz e efetiva dos resíduos alimentares depende de um olhar sistêmico e holístico sobre o bloco de construção da EC facilitado por estas tecnologias e tecnologias correlatas.

Palavras-Chave: Economia Circular. Resíduos de Alimentos. Blockchain. Inteligência Artificial. Tecnologia.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento socioeconômico advindo das revoluções industriais de certa maneira trouxe seus benefícios e impactos positivos para a sociedade. Apesar deste fato, toda esta engrenagem funcionou baseada em uma economia linear, onde a lógica é extrair recursos, produzir, consumir, que pode resultar em desperdícios (Ajwani-Ramchandani *et al*., 2021a; Millar *et al*., 2019).

Com esta lógica de funcionamento algumas implicações se tornam importantíssimo para o olhar da sustentabilidade, a escassez de recursos não renováveis, mudança para uma base de produção biológica (Bos and Broeze, 2020; Kawashima *et al*., 2019; Yang *et al*., 2021); problemas climáticos, com a poluição e seu impacto negativo socioeconômico; aumento da população, com uma previsão de 9 bilhões de pessoas até 2050; gestão de recursos naturais; são pontos de reflexão e se o que está previsto até 2050 não for revertida serão necessários três planetas para alimentar a humanidade (Ortega-Gil *et al*., 2021; Saldarriaga-Hernandez *et al*., 2020; Syberg *et al*., 2021; Hanumante *et al*., 2019; Mura *et al*., 2020; Xue *et al*., 2018).

Na medida que a população e a riqueza do mundo crescem, aumenta-se a demanda por recursos naturais, os quais estão cada vez mais escassos. Dentro disso, são desperdiçados muitos recursos valiosos, gerando a poluição de todos os ecossistemas (Sankaran, 2020). Uma vez que o êxodo urbano mostra tendências de crescimentos em até 80% da população que viverá em zonas urbanas, em alguns casos já é realidade. Segundo a ONU, 55% da população global vive em zonas urbanas e, tendo as cidades como sistemas complexos e dinâmicos, coloca-se a questão de produção, segurança, manutenção alimentar (Jensen; Orfila, 2021).

Entretanto, a perda e desperdício de alimentos na totalidade, mais especificamente em zonas urbanas, é um fator crítico. Deste modo os objetivos de desenvolvimento sustentável 12.3 é de estabelecer voluntariamente metas intermediárias específicas por país para fortalecer os esforços para reduzir pela metade a perda e o desperdício per capita global de alimentos até 2030, enfatizada pela Declaração de Riad dos Líderes do G20, mostra está preocupação ao nível de instituições internacionais (Al-Khateeb *et al*., 2021; Sadhukhan *et al*., 2020).

Neste contexto, a economia circular (EC) despontou sendo estratégia fundamental para o desenvolvimento da produção e consumo sustentáveis, tendo prioridade nas agendas de organizações, países, continentes, para ajudar a resolver preocupações econômicas, ambientais e sociais (Hjaltadóttir; Hild, 2021).

Uma vez que, os recursos de qualquer economia são escassos, neste ponto a economia circular é um sistema econômico de ciclo fechado baseado em recursos limitados e a acelerada degradação do meio ambiente remeteu a muitos países a formulação de leis e políticas públicas para a colmatar esta necessidade ao meio ambiente (Han *et a*l., 2020).

Desta forma, tem uma variedade de caracterizações e definições, iniciando com a ideia de ciclos de materiais, compreendendo a reciclagem remanufatura, recuperação, renovação e reutilização dos produtos, incluindo boas práticas de gestão (Singhal *et al*., 2020), as quais ajudam a fechar o ciclo de um determinado produto, tais como: a logística reversa e atividades da cadeia de fornecimento e minimização de resíduos industriais e antigos resíduos transformando-os em algo útil, gerando receita e subprodutos (De Oliveira *et al*., 2019; Kanwal *et al*., 2021; Manavalan; Jayakrishna, 2019).

A comercialização de um subproduto para outras corporações para uso de processamento e produção passa ser denominado de simbiose industrial (Korhonen *et al*., 2018). Dentro disso, a economia circular cria oportunidades para reduzir o desperdício, criando valor financeiro e econômico para as organizações e as sociedades em geral. Em um sistema baseado em EC, os produtos e materiais são mantidos dentro do uso produtivo em uma maior extensão possível. Os produtos e materiais são efetivamente colocados de volta na cadeia de valor, que ressalta no decrescimento e eliminação de resíduos (Bašić *et al*., 2020).

Ademais, a EC pode ser um modelo eficiente para fazer a gestão correta dos resíduos, aumentando a utilidade dos materiais, reduzindo o desperdício e o consumo de energia (CHEN; KIM, 2019; Pires; Martinho, 2019; Su; Urban, 2021). Neste sentido, a EC pode se tornar um instrumento relevante na transição energética, e um caminho para a transformação de fontes de energia de combustível fóssil para fontes de energia baseadas em zero carbono. Os projetos de economia circular e de transição energética podem se beneficiar imensamente do uso de tecnologias inteligentes de apoio ao desenvolvimento de conjunturas políticas (Chen and Kim, 2019; Su and Urban, 2021).

Globalmente 1/3 da produção de alimentos são desperdiçados, levando em conta da cadeia de suprimento e de valor, desde a produção, processamento, armazenamento, manuseio, transporte até consumidores finais (Fao, 2011). A geração de resíduos orgânicos representa 50% de todo resíduos sólidos urbano e boa parte destes resíduos orgânicos são resíduos alimentares. Só no município de São Paulo no Brasil são gerados proximamente 6,3 mil toneladas de resíduos orgânicos destinados diariamente à aterros e lixões, totalizando mais de 2,3 milhões de toneladas por ano (Eco circuito, 2017).

E uma das causas de emissão de gases de efeito estufa são as perdas e desperdício de alimentos (PDA) (Schanes *et al*., 2018), a proximamente representa 8% de emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2019). Este fato, expressa o quanto os recursos naturais são também perdidos e desperdiçados, pois PDA consomem 25% da água utilizada na produção agrícola (Searchinger *et al*., 2014). O outro impacto é a liberação do metano por alimentos descartados em aterros sanitários, bem como a contaminação da água gerada como alimentos em decomposição misturam-se com produtos farmacêuticos tóxicos, plastificantes (Isenhour et al., 2022).

A recuperação de resíduos orgânicos pode ajudar na exploração de novos recursos de forma amenizar os recursos não renováveis, como a utilização de biomassa vegetal para produção de químicos e combustíveis (Santagata *et al*., 2021), bioenergia (Dahiya *et al*.,2018).

Portanto, a adoção do EC está claramente ligada à digitalização, uma vez que essa junção pode facilitar a análise preditiva, rastreamento e monitoramento ao longo do ciclo de vida do produto (Chauhan *et al*., 2019). Posto que, tecnologias como IA e blockchain são ferramentas que podem gerenciar melhor toda a cadeia de produto, oferecendo um potencial adicional a gestão correta dos resíduos alimentar. E neste sentido, pesquisadores apontam que a transformação digital e EC caminham juntas (Ajwani-Ramchandani *et al*., 2021b; Chauhan et al., 2019; Ingemarsdotter *et al*., 2019).

Ademais a aplicação de tecnologias emergentes tem benefícios que podem ser mensuráveis quando aplicados em conjunto com a EC. Dentro disso, o uso efetivo de tecnologias como big data, inteligência artificial (IA), blockchain, Internet das coisas (IoT) e computação em nuvem podem ajudar a melhorar a tomada de decisões de negócios baseados em economia circular (Mboli *et al*., 2020).

O fluxo de informações em um sistema inteligente é fundamental para controlar de maneira efetiva todo o sistema de economia circular e reduzir o desperdício de alimentos. Deste modo, o acoplamento de tecnologias pode criar diversos benefícios compartilhados, como melhorar a relação entre os atores de uma cadeia de valor alimentar, proporcionando uma alocação mais adequada em tempo real de toda a cadeia.

Neste sentido, busca-se como problemática, a compreensão dos aspectos relacionados a economia circular, inteligência artificial e a tecnologia blockchain. Para tanto, este estudo foi conduzido pela seguinte pergunta: Quais são as funções, contribuições e aplicabilidade mais significativas da blockchain e inteligência artificial na reutilização dos resíduos alimentares em um sistema economia circular? Convergência da Inteligência Artificial e Blockchain e sua utilização na economia circular desde atuação nos blocos de construção da EC, redesenho cadeia de valor; inovação em modelo de negócios; ciclos reversos; condições habilitadoras (Chidepatil *et al*., 2020; Demestichas and Daskalakis, 2020a; Hoosain *et al*., 2020; Sankaran, 2019).

Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar a convergência entre tecnologia blockchain e inteligência artificial, no descarte de resíduos alimentares em um sistema de economia circular e seu impacto nos blocos (redesenho da cadeia de valor, inovação em modelo de negócios, capacidades de ciclos reversos, condições sistemáticas ou condições habilitadoras) de construção da EC para reutilização efetiva, eficaz, eficiente dos resíduos de alimentos.

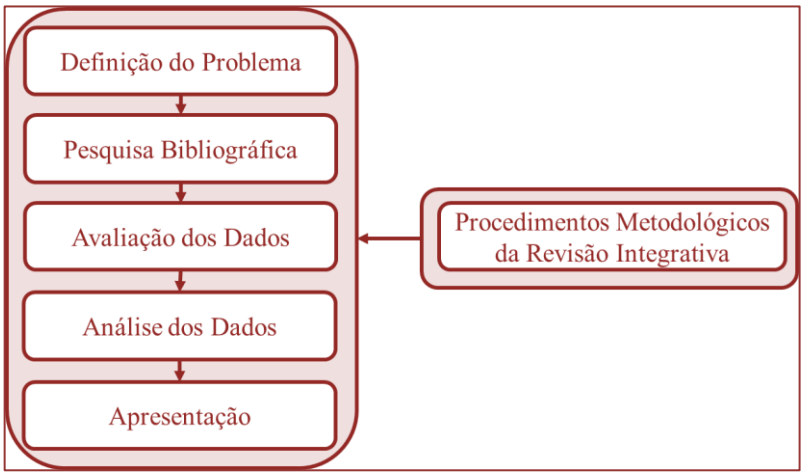
2. MATERIAIS E MÉTODO

O estudo trata de revisão integrativa da literatura, de natureza qualitativa, conduzida a partir de fontes secundárias obtidas de periódicos internacionais. O estudo foi realizado a partir de um levantamento bibliográfico e análise de artigos publicados nos últimos 5 anos, conforme o método proposto por (Souza *et al*., 2010).

Assim, a escolha do método de revisão considerou a possibilidade de produção de conhecimentos a partir da síntese e da aplicabilidade dos achados encontrados, conforme preconiza (Pereira et al., 2018). Para definir a abordagem dos estudos, formulou-se a seguinte pergunta norteadora. Quais são as funções, contribuições e aplicabilidades mais significativas do blockchain e da inteligência artificial na reutilização dos resíduos alimentares em um sistema de economia circular?

A fase de coleta de dados ocorreu no mês de janeiro de 2022. Para tanto, utilizou-se o instrumento de coleta validado por (Ursi and Gavão, 2006). O instrumento contempla os seguintes itens: identificação do estudo, tipo de aplicação da tecnologia e contribuição dos estudos, tipo de abordagem e resultados encontrados.

Figura 1: Procedimentos Metodológicos.

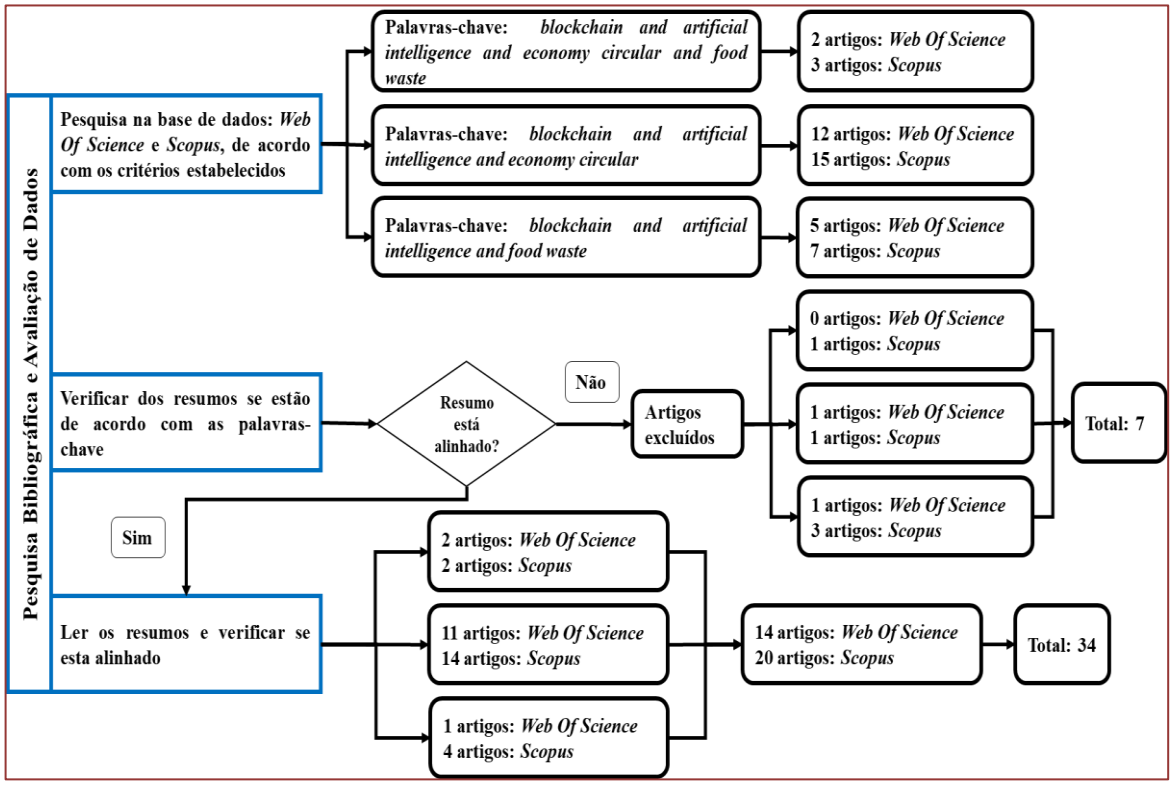


Fonte: Adaptado de Ursi and Gavão, 2006; Elsbach and van Knippenberg, 2020; Hopia *et al.*, 2016.

Para atingir o objetivo do estudo, pesquisou-se nas bases de dados internacionais da *Scopus* e *Web of Science (WoS),* as publicações que abordassem a temática em estudo, em vez de periódicos específicos, para se obter mais artigos. Esse fato baseia-se na premissa de que a EC, IA e Blockchain são temáticas desenvolvidas recentemente e não há ainda um número significativo de artigos em periódicos individuais. Buscou-se procurar correlacionar, na língua inglesa, as seguintes palavras-chave em inglês com as seguintes combinações: *blockchain and artificial intelligence and economy circular and food waste; blockchain and artificial intelligence and economy circular; blockchain and artificial intelligence and food waste.*

A avaliação dos dados se deu por meio de critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão consistiram em estudos publicados nos últimos 5 anos, com resumos disponíveis na base de dados selecionadas, com abordagem sobre *blockchain, artificial intelligence, food waste* e/ou *economy circular* (Elsbach and van Knippenberg, 2020; Hopia *et al*., 2016; Whittemore and Knafl, 2005). Como critérios de exclusão, foram considerados: artigos, cujos resumos não estavam relacionados ao tema em estudo (Elsbach and van Knippenberg, 2020; Hopia *et al*., 2016; Whittemore and Knafl, 2005).

Figura 2: Etapa da pesquisa bibliográfica e avaliação de dados.

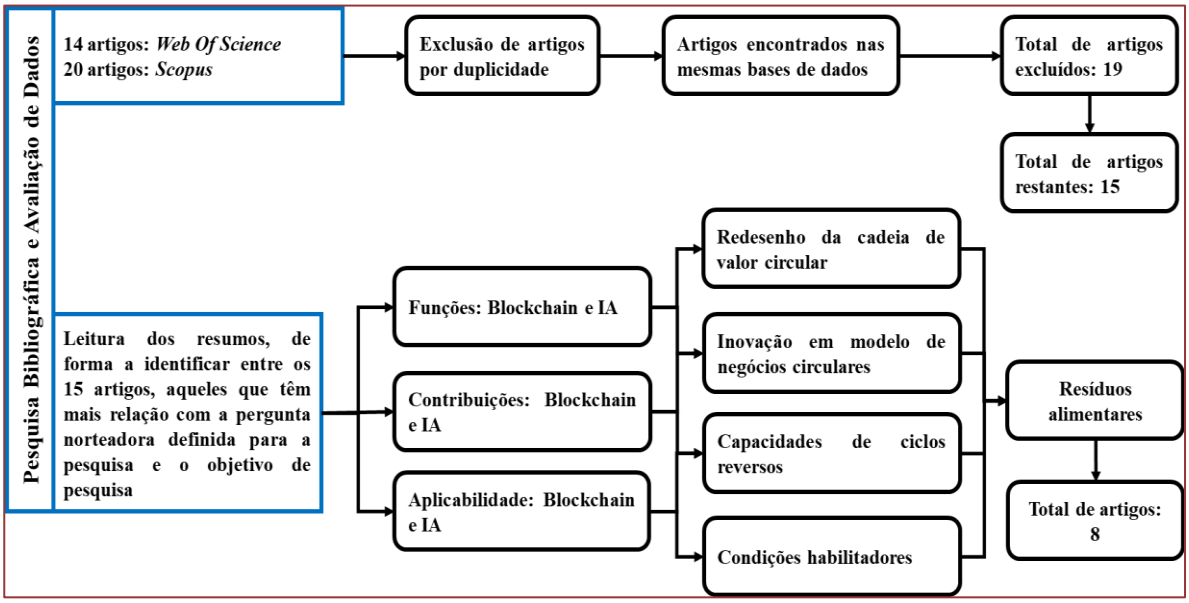


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na sequência, a seleção do material se deu a partir da leitura dos resumos, para identificar os artigos que guardavam relação com a pergunta norteadora definida para a pesquisa e o objetivo da pesquisa. Deste total de 34 artigos que compõe a amostra inicial, foram retirados 19 artigos por duplicidade, tanto encontrados nas duas bases de dados pesquisados, como também na forma combinatória das palavras-chave inseridas nas bases de dados.

Restando apenas 15 artigos e depois do alinhamento destes com a pergunta norteadora definida para a pesquisa e o objetivo da pesquisa, temos o total de 8 artigos restantes. Como evidencia a figura 3.

Figura 3: Continuação da etapa da pesquisa bibliográfica e avaliação de dados.



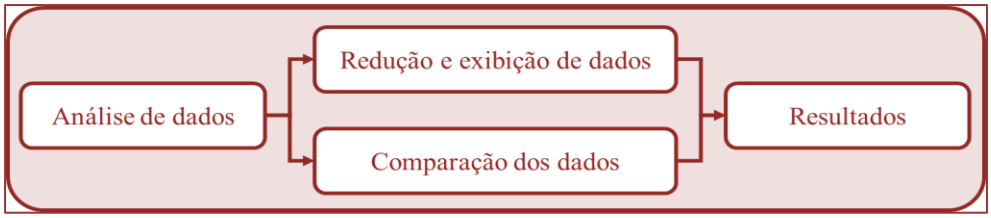
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Por fim, a análise dos dados se deu de forma descritiva e a sua apresentação, os resultados foram reunidos em subgrupos, visando facilitar a análise de acordo com as características da amostra.

3. RESULTADOS

Esta secção é composta por meio da penúltima etapa do procedimento metodológico da Revisão integrativa. Assim como mostra a figura 2.

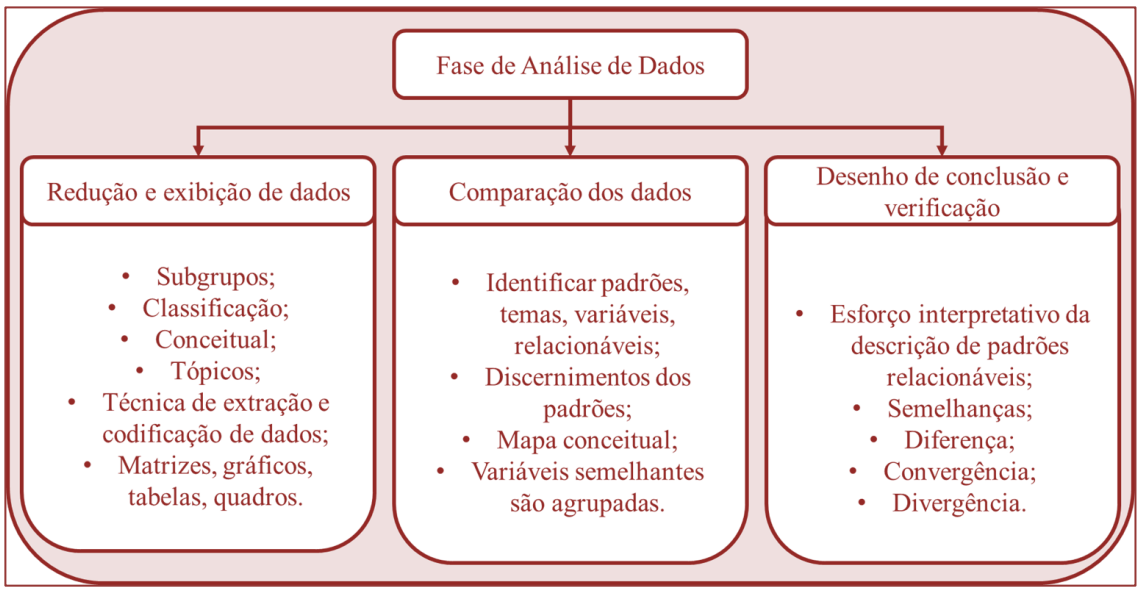
Figura 4: Estrutura dos resultados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Análise de dados da nossa amostra se dará por meio desta estrutura, como mostra a figura 3, na qual a terceira parte de desenho e conclusão e verificação se dará na secção discussão.

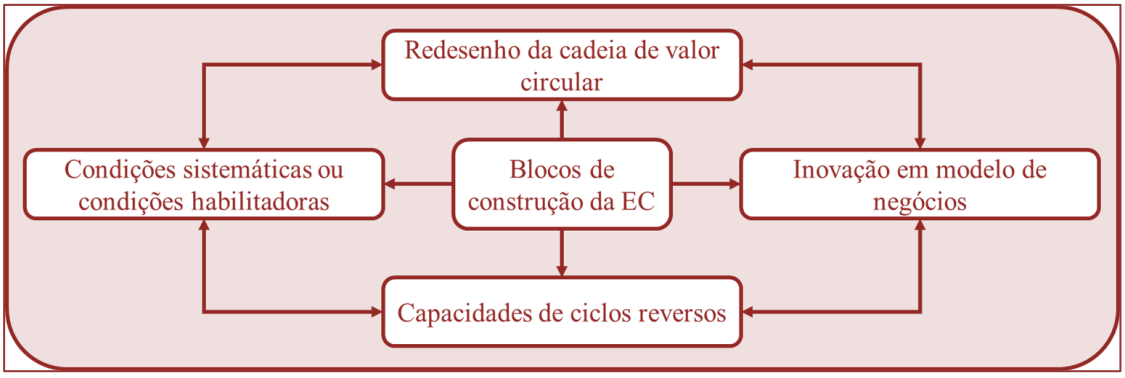
Figura 5: Fase de análise de dados.



Fonte: Adaptado de Elsbach and van Knippenberg, 2020; Hopia *et al*., 2016; Whittemore and Knafl, 2005.

Deste modo, os 8 artigos que compõe a nossa amostra final foram agrupados em subgrupos, tópicos e classificação conceitual de acordo com os 4 blocos de construção da economia circular, afim de entender o seu impacto na construção destes blocos nos resíduos alimentares de forma geral, como mostra a figura 6.

Figura 6: Blocos de construção da EC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Neste subgrupo sobre o redesenho da cadeia de valor circular, como mostra a tabela 1, talvez este subgrupo seja o mais complexo do ponto de vista integração, interação, coordenação, mudança de comportamento, mudanças de hábitos alimentares, aprendizagem na cadeia de valor, pois implica fechar o ciclo não só em uma empresa, mas em toda cadeia (fornecedores, produtores, logística, prestadores de serviços governos, consumidores) de forma oferecer valor circular compartilhado.

No subgrupo inovação em modelo de negócios, em detrimento da nossa amostra, tivemos um só artigo. Neste contexto para modelagem de negócios um dos maiores gargalos para gerar, entregar e capturar valor circular de forma inovadora serão os parceiros e stakeholders na qual dependem para o funcionamento do negócio.

Na capacidade de ciclos reversos, não só lidando com ciclo técnico (reutilização, reciclagem, remanufatura, reutilizar) quando lidamos com produtos não renováveis, como também envolve o ciclo biológico, onde os produtos são de base biológica, mas que requerem uma forma adequada para retornarem na cadeia produtiva ou no ecossistema ecológico. Para o subgrupo condições sistemáticas ou condições habilitadoras, não foi atribuído nenhum artigo, não que não haja uma relação com ela. Mas por que não houve ênfases, mas direta, apesar de que quase todos artigos da amostra têm relação com este subgrupo.

Tabela 1: Blocos de construção da EC (redução e exibição de dados).

Subgrupos	Artigos	Tópicos	Classificação conceitual
Redesenho de cadeia de valor circular	*Conceptualising circular economy performance with non-traditional valuation methods: Lessons for a post-Pandemic recovery. (Nandi et al., 2021).*	Estudo teórico	Utilização do modelo CEPMM, para construção de resiliência e sustentabilidade na cadeia de suprimentos e logística, afim de oferecer um valor circular compartilhado.
Redesenho de cadeia de valor circular	*Digitalization and Future Agro-Food Supply Chain Management: A Literature-Based Implications. (Amentae and Gebresenbet, 2021).*	Revisão integrativa	Como articular, integrar, coordenar a cadeia de suprimento agroalimentar suportada pelas tecnologias digitais, afim de oferecer um valor circular compartilhado.
Redesenho de cadeia de valor circular	*Digitalization in Food Supply Chains: A Bibliometric Review and Key-Route Main Path Analysis. (Rejeb et al., 2022).*	Revisão Bibliométrica.	Como articular, integrar, coordenar a cadeia de suprimento agroalimentar suportada pelas tecnologias digitais, afim de oferecer um valor circular compartilhado.
Redesenho de cadeia de valor circular	*Industry 4.0 technologies as enablers of collaboration in circular supply chains: a systematic literature review. (Gebhardt et al., 2021).*	Revisão sistemática	Como articular, integrar, coordenar a cadeia de suprimento agroalimentar suportada pelas tecnologias digitais, afim de oferecer um valor circular compartilhado.
Inovação em modelo de negócios	*A systematic literature review on circular economy practices: challenges, opportunities and future. (Khan et al., 2022).*	Revisão sistemática	Quais são os desafios, oportunidades e tendências futuras para os modelos de negócios fazerem a sua transição na economia circular.
Capacidades de ciclo reversos	*From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste? (Chidepatil et al., 2020).*	Estudo teórico	As tecnologias Blockchain e Inteligência Artificial podem ajudar e facilitar na transição da EC, especificamente nos ciclos reversos.
Capacidades de ciclo reversos	*Information and Communication Technology Solutions for the Circular Economy. (Demestichas and Daskalakis, 2020b).*	Revisão sistemática	As tecnologias Internet das coisas, blockchain, plataformas digitais, algoritmos de inteligência artificial podem ajudar e facilitar na transição da EC, especificamente nos ciclos reversos.
Capacidades de ciclo reversos	*Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies*	Pesquisa explicativa e estudo de caso	As tecnologias inteligência artificial e Blockchain podem ajudar e facilitar na transição da EC, especificamente nos ciclos reversos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na tabela 2, temos a síntese de artigos incluídos na revisão integrativa.

Tabela 2: Síntese dos artigos (redução e exibição de dados).

Título dos artigos	Autores	Objetivo	Resultados	Recomendações/Conclusões
A systematic literature review on circular economy practices: challenges, opportunities and future trends	(Khan *et al.*, 2022)	Realizar uma revisão sistemática da literatura para entender o conceito de EC e encontrar novas ferramentas e frameworks disponíveis para as organizações. A revisão da literatura baseia-se em artigos publicados em periódicos renomados no período de 2016 a 2021.	As tecnologias digitais implícitas são Tecnologia Industrial (IR) 4.0, Big Data, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial, Blockchain e Data Analytics para aumentar o desempenho organizacional e ambiental. Os pesquisadores de CE precisam usar testes empíricos em diferentes setores para entender e apresentar modelos e práticas de negócios mais adequados de acordo com a dinâmica do setor.	Muitas organizações estão fazendo a transição para a EC para aumentar a sustentabilidade e o desempenho financeiro e atender a várias partes interessadas associadas ao negócio. Estudos quantitativos como ReSOLVE e SEM ("modelagem de equação estrutural") fornecem informações precisas sobre vários fatores que complementam e auxiliam na implementação do CE.
Conceptualising Circular economy performance with non-traditional valuation methods: Lessons for a post-Pandemic recovery	(Nandi *et al.*, 2021)	Ajudar a avançar o corpo de conhecimento e prática na medição do desempenho da cadeia de suprimentos. Argumentamos que as organizações podem avaliar a sustentabilidade da cadeia de suprimentos e o desempenho da resiliência usando um subconjunto de técnicas de avaliação de bens ambientais para suas cadeias de suprimentos.	Aplicação do modelo CEPMM, a construção de resiliência e sustentabilidade na cadeia de suprimentos e logística pode ser concluída por meio de práticas de CE. Essas práticas podem ser avaliadas, provavelmente de forma mais eficaz e não tradicional, por meio do NMVM. Para ajudar a incentivar e desenvolver essas métricas, propomos o uso de tecnologias digitais multissetoriais, uma vez que muitos dos NMVM exigem contribuições de stakeholders fora do escopo de uma única organização.	Utilizamos as teorias baseadas em recursos e neo-institucionais nesta pesquisa. As implicações são de uma perspectiva multigovernamental, mas temos implicações para uma melhor reconstrução. Embora a pesquisa esteja concentrada em uma pequena amostra de exemplos do COVID-19, as ideias conceituais são extremamente importantes, mas se elas são aceitáveis para um determinado setor deve ser cuidadosamente avaliada.
Digitalization and Future Agro-Food Supply Chain Management: A Literature-Based Implications	(Amentae and Gebresenbet, 2021)	Revisar a literatura recente (publicada em 2017-2021) na área de digitalização do sistema alimentar, a fim de identificar possibilidades e desafios existentes criados pelas tecnologias digitais na transição para um sistema alimentar sustentável. Os objetivos específicos da revisão foram identificar.	O uso de tecnologias digitais como blockchain, Internet das Coisas, análise de big data, inteligência artificial e tecnologias de informação e comunicação, relacionadas foram identificados como facilitadores. Rastreabilidade, sustentabilidade, a resiliência a crises como a pandemia de COVID-19 e a redução do desperdício de alimentos estavam entre as principais áreas de benefícios associadas à digitalização de diferentes commodities alimentares. Foram identificados desafios para aplicações práticas relacionadas a infraestrutura e custo, conhecimento e habilidade, lei e regulamentos, a natureza das tecnologias e a natureza do sistema alimentar.	O desenvolvimento de políticas e regulamentos, o apoio ao desenvolvimento de infraestrutura e a educação e treinamento de pessoas podem facilitar a digitalização mais completa do sistema alimentar. E a natureza do sistema alimentar foram identificados. O desenvolvimento de políticas e regulamentos, o apoio ao desenvolvimento de infraestrutura e a educação e treinamento de pessoas podem facilitar a digitalização mais completa do sistema alimentar.
Digitalization in Food Supply Chains: A Bibliometric Review and Key-Route Main Path Analysis	(Rejeb *et al.*, 2022)	Identificar e apresentar o status atual, lacunas de pesquisa, futuras direções de pesquisa de FSCs habilitados para tecnologia, este estudo pode contribuir para a academia e a indústria. Em nossa jornada, somos guiados pelas seguintes questões de pesquisa.	Os resultados da revisão e da análise bibliométrica indicam que a pesquisa na interseção da tecnologia e do FSC ganhou interesse substancial dos estudiosos. Com base na rede de coocorrência de palavras-chave, a literatura está focada no papel da tecnologia de comunicação da informação para agricultura e segurança alimentar, desperdício de alimentos e economia circular, e a fusão da Internet das Coisas e blockchain no FSC. A análise do caminho principal da rota-chave revela três períodos críticos que marcam o desenvolvimento de FSCs habilitados para tecnologia.	Com base em técnicas bibliométrica e análise de conteúdo de artigos selecionados, identificamos os temas mais relevantes em pesquisas existentes e descobrimos caminhos emergentes e promissores para estudos futuros. Para realizar a análise, uma coleção de 2140 publicações foi selecionada e considerada para a revisão final. Os resultados da revisão podem ser relevantes para pesquisadores que investigam ativamente a digitalização no FSC.
From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste?	(Chidepatil *et al.*, 2020)	Discutir como essas ferramentas inteligentes ajudam os segregadores, recicladores e fabricantes a compartilhar dados de forma confiável, planejar a cadeia de suprimentos, executar pedidos de compra para aumentar o uso de	Neste artigo, apresentamos nossos esforços contínuos para segregar plásticos com base em seus tipos e melhorar a confiabilidade das informações sobre plásticos reciclados usando os primeiros contratos inteligentes de blockchain alimentados por algoritmos de	Usando essas ferramentas, segregadores, recicladores e fabricantes podem compartilhar dados de forma confiável, planejar a cadeia de suprimentos, executar pedidos de compra e, portanto, finalmente aumentar o uso de matéria-prima plástica reciclada.

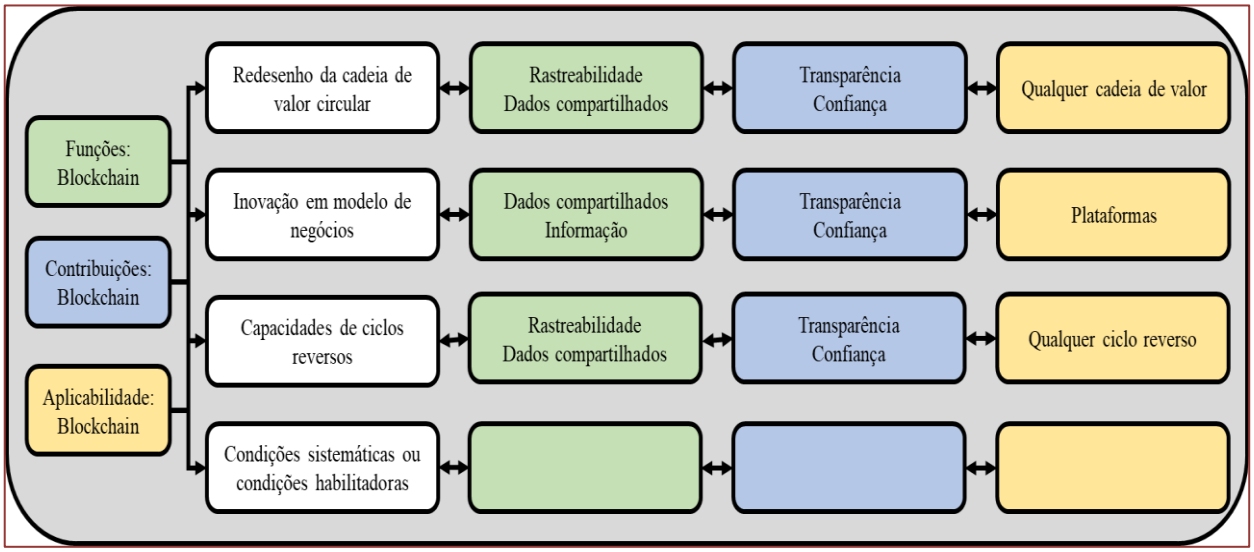
Tabela 2: Síntese dos artigos (redução e exibição de dados).(continuação)

Título dos artigos	Autores	Objetivo	Resultados	Recomendações/Conclusões
From Trash to Cash: How Blockchain and Multi-Sensor-Driven Artificial Intelligence Can Transform Circular Economy of Plastic Waste?	(Chidepatil *et al.*, 2020)	Discutir como essas ferramentas inteligentes ajudam os segregadores, recicladores e fabricantes a compartilhar dados de forma confiável, planejar a cadeia de suprimentos, executar pedidos de compra para aumentar o uso de matéria-prima plástica reciclada.	Neste artigo, apresentamos nossos esforços contínuos para segregar plásticos com base em seus tipos e melhorar a confiabilidade das informações sobre plásticos reciclados usando os primeiros contratos inteligentes de blockchain alimentados por algoritmos de fusão de dados multissensorial usando inteligência artificial. Demonstramos como diferentes modos de fusão de dados podem ser empregados para recuperar vários parâmetros físico-químicos de resíduos plásticos para segregação precisa.	Usando essas ferramentas, segregadores, recicladores e fabricantes podem compartilhar dados de forma confiável, planejar a cadeia de suprimentos, executar pedidos de compra e, portanto, finalmente aumentar o uso de matéria-prima plástica reciclada.
Industry 4.0 technologies as enablers of collaboration in circular supply chains: a systematic literature review	(Gebhardt *et al.*, 2021)	Realizar uma revisão sistemática da literatura (SLR) para identificar padrões, tendências e temas existentes nesta interseção de pesquisa e fornecer transparência sobre seu conteúdo conceitual e empírico. Portanto, nosso estudo contribui para um quadro cada vez mais detalhado do paradigma EC, analisando sua interseção com I4.0 e CSC – uma perspectiva atualmente ausente na literatura.	A revisão mostra que o compartilhamento de informações e o planejamento conjunto e a tomada de decisões são os mecanismos de colaboração mais comuns estudados. Simultaneamente, a Internet das Coisas, Blockchain, e Cloud Systems são as tecnologias mais discutidas para viabilizar esses mecanismos. Os padrões de amostra de revisão mais proeminentes são sintetizados em três arquétipos para a colaboração da cadeia de suprimentos circular habilitada para a Indústria 4.0.	O estudo deriva nove questões promissoras para pesquisas futuras em seis dimensões principais: Gêmeos Digitais e Inteligência Artificial, criação e inovação conjunta de conhecimento, colaboração no design e planejamento de produtos, colaboração sistêmica através das fronteiras da indústria, contextualização com barreiras para a implementação de cadeias de suprimentos circulares, e transferibilidade de aplicativos entre indústrias.
Information and Communication Technology Solutions for the Circular Economy	(Demestichas and Daskalakis, 2020b)	Primeiro investigar se soluções de TIC de vários tipos podem desempenhar um papel na transição para modelos de EC. A segunda engloba a identificação de potenciais desafios e barreiras enfrentados ao usar elementos de TIC para a transição mencionada. Ao criar uma nova categorização das soluções, o terceiro objetivo deste artigo é sugerir uma nova linha para trabalhos de pesquisa, que integre soluções de TIC de diversos setores tecnológicos com diferentes conceitos de EC.	Os resultados sugerem que as soluções de TIC relacionadas à coleta e análise de dados, e em particular à internet das coisas, blockchain, plataformas digitais, algoritmos de inteligência artificial e ferramentas de software, estão entre as soluções mais populares propostas por pesquisadores acadêmicos. Os resultados também sugerem que é dada maior ênfase à componente "reduzir" da EC, embora também existem soluções de TIC para as outras componentes "R", bem como soluções holísticas baseadas em TIC.	A ampla gama de soluções baseadas em TIC que atuam como pilares ou facilitadores para o desenvolvimento e aplicação bem-sucedidos de modelos de EC. O resultado mais prevalente é que a maioria das soluções são mais relevantes para o conceito de EC "reduzir". Priorizar "reduzir" sobre "reutilizar", "reciclar" e "recuperar" é de grande importância, pois auxilia na prevenção de várias complicações (deterioração da qualidade por vezes presente na reciclagem/reutilização, uso de recursos para reciclar/restaurar etc.) Como todos os conceitos do modelo 4R estão fortemente inter-relacionados, encontrar uma solução em uma categoria de conceito de EC específica não exclui a possibilidade de uma solução ser relevante também para outro conceito de EC.
Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies	(Ajwani-Ramchandani *et al.*, 2021b)	Compreender como alinhar os incentivos dos diferentes stakeholders para um EC de embalagens, para que o sistema faça sentido ambiental e social, mas também econômico.	Constatamos que havia um desejo e capacidade, com o uso da tecnologia certa, entre os grupos urbanos para enfrentar o problema se com os incentivos certos para os diferentes atores envolvidos e de uma perspectiva holística. Nossas descobertas nos permitiram avançar em uma estrutura holística baseada em incentivos usando digitalização e novas tecnologias, como blockchain e inteligência artificial.	No entanto, desafiamos essa premissa, pois as embalagens e seus resíduos, podem ter, no mínimo, um impacto semelhante nos consumidores quando comparados aos produtos. Tal impacto tem o potencial de impactar a sustentabilidade financeira de uma empresa no longo prazo, o que exige que a empresa mude seu modelo de negócios para acomodar a embalagem e seu tratamento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Após redução e exibição dos dados, expõe-se na figura 7 e 8, a comparação dos dados, para identificar e discernir padrões, temas ou variáveis relacionáveis. É evidente que a tecnologia Blockchain em relação aos blocos de construção da EC, dependentemente da sua função, contribuição e aplicabilidade e a forma como ela pode atender à necessidade nestes subgrupos, ela é uma tecnologia facilitadora e de grande importância para a transição da economia linear para economia circular.

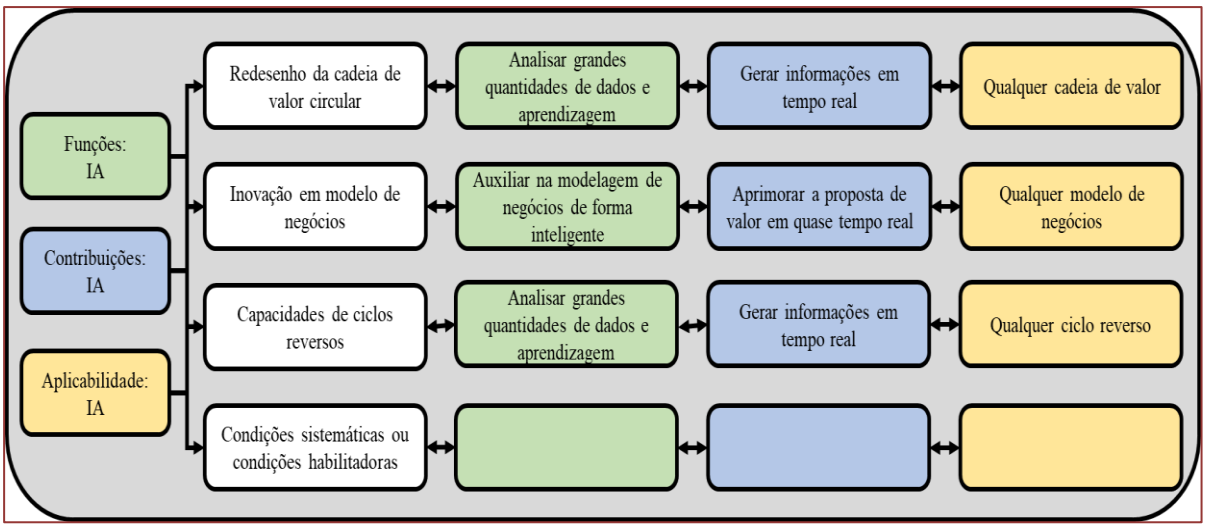
Figura 7: Comparação de dados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

De igual modo, a Inteligência Artificial a sua função, contribuição e aplicabilidade e a forma como ela pode atender à necessidade nestes subgrupos varia, mas ela é primordial para lidar com uma EC baseado em dados.

Figura 8: Comparação

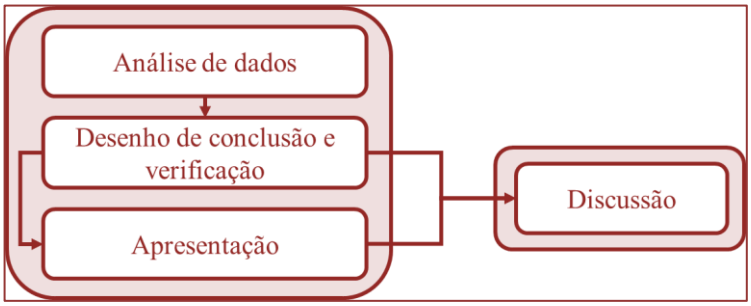


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. DISCUSSÃO

Esta secção será composta pela última parte da análise de dados (desenho de conclusão e verificação) e apresentação do procedimento de metodológico da revisão integrativa.

Figura 9: Análise de dados, desenho de conclusão e verificação, apresentação e discussão



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Na Figura 7 e 8 pode-se fazer uma comparação dos dados identificando as funções, contribuições e aplicabilidade da tecnologia blockchain e inteligência artificial. Para tanto, evidencia-se a possibilidade do uso da a inteligência artificial está mais centrada em gerar informações e aprimorar uma proposta de valor em tempo em tempo real. Já blockchain pode ser usada para os casos de ativos específicos em que necessitem de um melhor 18 acompanhamentos nos registros de suas particularidades durante todo o processo de um produto, o que poderia gerar maior confiança na realização de transações entre agentes econômicos de uma economia circular.

Neste sentido a blockchain pode ser implementada para criar registros permanentes dos processos logísticos de um determinado produto, sendo possível compartilhar todos os

Momentos do percurso até o consumidor final. Desse modo, proporcionará a rastreabilidade, autenticidade e legitimidade por meio de sua cadeia de suprimento (Wang et al., 2019). Consequentemente, ela tem o potencial de delinear as interações nas negociações dos diversos setores da economia, inclusive na circular. Para tanto, o uso da tecnologia torna mais simplificadas as operações para os participantes das cadeias dos diversos modelos de negócios, podendo identificar e dimensionar investimentos e ter mais controle dos registros de cada elo da cadeia.

Neste sentido identificou-se que a blockchain pode contribuir para a gestão eliminação do produto, fornecendo informações precisas e confiáveis relativas aos produtos e serviços compartilhados. A capacidade de recolher dados atualizados precisos relativos a produtos pode incluir a qualidade e a possibilidade de circular de produtos, suas localizações, e seu atual estágio no ciclo de vida do produto. Isto dá às empresas a oportunidade de rastrear e analisar a capacidade de reutilização, desempenho e durabilidade dos produtos e identificar os pontos de falha em alguma etapa (Zhu and Kouhizadeh, 2019).

Com base nas análises, assim como nos resultados apresentados, constatou-se na revisão dos subgrupos que blockchain e inteligência artificial pode ser usada para implementar esquemas de incentivo para adoção de EC. Posto que, sem fluxos de informações confiáveis e precisos sobre recursos, materiais e processos, se torna complexo quantificar

iniciativas circulares (Bianchini et al., 2019). Ademais, verifica-se que a IA e a blockchain são duas tecnologias em destaque que traz benefícios e pode ajudar efetivamente a tomada de decisões gerenciais em sistemas de suporte à decisão personalizáveis baseados em economia circular.

A utilização eficiente, eficaz e efetiva dos resíduos alimentares na economia circular precisa de uma abordagem sistemática e holística do ponto de vista da construção dos 19 blocos da EC (Searchinger *et al*., 2014; Amentae and Gebresenbet, 2021; Rejeb *et al*., 2022; Chidepatil *et al*., 2020; Demestichas and Daskalakis, 2020a; Hoosain *et al*., 2020; Sankaran, 2019). Pois dentre muitas variáveis que auxiliam e facilitam está transição para uma alimentação circular, está a tecnologia (Hassoun *et al*., 2022; Zhu and Kouhizadeh, 2019).

A inteligência artificial tem mostrado sua utilização desde agricultura de precisão, processamentos de alimentos, inovação em desenvolvimentos de produtos, segurança alimentar, marketing e varejo dentro da cadeia de alimentos, com utilização de sensores (Hassoun *et al*., 2022). A falta de rastreabilidade da rotulagem na cadeia de fornecimento alimentar, não favorecia a transparência, ciclos lentos de inovações e complicava a logística.

No entanto, a blockchain possibilita a rastreabilidade dos produtos do produtor ao consumidor final, gerando qualidade nos alimentos, eliminando riscos, transparência, confiança (utilização de alimentos perecíveis, saber origem dos produtos, saber o estado das condições em que o produto foi transportado) (Bhutta and Ahmad, 2021; Hassoun *et al*., 2022).

Convergência destas duas tecnologias inteligência artificial, blockchain e outras correlatas torna-se mais interesse, devido a complementariedade que acontece no processo e uma superando o limite da outa (Khan *et al*., 2020; Singh et al., 2020). Nesse contexto esta convergência traz importantes utilidades nos resíduos alimentares no sistema de EC (Holmberg and Ideland, 2021; Kusumowardani *et al*., 2022; Amentae and Gebresenbet, 2021; Gebhardt *et al*., 2021).

Portanto é de fundamental importância, empregar tecnologias como blockchain e IA nos processos produtivos que inter-relacionem a produção de alimentos com estratégias de descarte de resíduos alimentares em sistema de economia circular, afim de promover o desenvolvimento sustentável de tal modo, que os recursos ambientais sejam gerenciados para atender as necessidades atuais sem danificá-los para o uso futuro (Amentae and Gebresenbet, 2021; Holmberg and Ideland, 2021; Kusumowardani *et al*., 2022).

Além disso, é essencial que o plano de gerenciamento de resíduos alimentares seja implementado, visando à minimização da geração de resíduos, bem como sua destinação ambientalmente correta. Portanto, reduzir o desperdício de alimentos na forma de restos de alimentos, é indispensável o monitoramento por meio dessas tecnologias.

A utilização eficiente, eficaz e efetiva dos resíduos alimentares na economia circular pode proporcionar: transformação de resíduos alimentar em energia, onde resíduos são vistos como recurso (Holmberg and Ideland, 2021); transformação de resíduos alimentares em composto e outros nutrientes (fertilizante orgânico), Utilização de resíduos de alimentos como ração animal, programa beneficente que visava distribuir o desperdício de alimentos para a comunidade vizinha (Kusumowardani *et al*., 2022); utilização de biorrefinaria com aplicação de tecnologias químicas eficientes, verdes e sustentáveis afim de transformar resíduos alimentares inevitáveis em moléculas de alto valor para

renutrição (exemplo, produção de sabores, fragrâncias, pectinas, celulose e dietética; outro exemplo de cascas de laranja processada para gerar cítricos, se porventura forem descartada no meio ambiente, podem causar poluição ambiental e impactos à saúde) (Sadhukhan *et al*., 2020); a utilização de Biossurfactantes regenerativos com o uso de resíduos alimentares inevitáveis para produção de proteínas à base de plantas para alimentos (Sadhukhan *et al*., 2020); a recuperação de resíduos orgânicos pode ajudar na exploração de novos recursos de forma amenizar os recursos não renováveis, como a utilização de biomassa vegetal para produção de químicos e combustíveis (Santagata *et al*., 2021), bioenergia (Dahiya *et al*., 2018). Com o desenvolvimento acelerado da ciência básica, aplicada e as tecnologias emergentes temos e teremos diferentes e diversas soluções para o resíduo alimentar.

Dentre estas possibilidades a inteligência artificial, pode gerenciar os dados para menos desperdício e melhor reutilização dos resíduos, blockchain para rastreabilidade e auditabilidade da cadeia de suprimentos, são práticas que já vem sendo adotado por startups, até mesmo por empresas já estabelecidas no mercado, desta forma reinventando e redefinindo seus modelos de negócios (De Bernardi; Azucar, 2020).

Outra barreira a ser levado em conta são as cadeias de valor, onde a redefinição ou o redesenho não depende de uma única empresa ou organização, mas de todos agentes envolvido no ecossistema. Estes desafios podem ser desde processo ganha-ganha na cadeia, infraestrutura digital, segurança de dados e propriedade de dados (Hassoun *et al*., 2022).

Então, partindo do pressuposto de que existem deficiências no compartilhamento de informações ao longo da cadeia produtiva de alimentos e dos crescentes desafios a serem superados para mitigação de riscos associados aos resíduos alimentares. Portanto para descobrir os pontos críticos que envolvem a produção de um alimento é importante rastrear seu percurso ao longo da cadeia produtiva.

Neste sentido, a capacidade da tecnologia blockchain e EA de rastrear as unidades individuais de produtos em um sistema de rastreabilidade eficiente, e em tempo real pode favorecer o gerenciamento de dados e da troca de informações entre os atores da cadeia de suprimentos alimentar. Contudo pesquisas que envolvam a otimização de sistemas de rastreabilidade com uso dessas tecnologias sobre a presença de resíduos, assumem uma importante relevância para o controle da qualidade de alimentos.

5. CONCLUSÕES

A transição da economia linear para economia circular é irreversível, devido ao modo de produção anotado sem levar em consideração a manutenção do planeta, o crescimento populacional e a escassez de recursos. Neste sentido objetivamos analisar a convergência entre tecnologia blockchain e inteligência artificial, no descarte de resíduos alimentares em um sistema de economia circular e seu impacto nos blocos (redesenho da cadeia de valor, inovação em modelo de negócios, capacidades de ciclos reversos, condições sistemáticas ou condições habilitadoras) de construção da EC para reutilização efetiva, eficaz, eficiente dos resíduos de alimentos.

Primeiro percebe-se que as tecnologias blockchain e inteligência artificial estão em alta quando o assunto é EC, isto devido a sua contribuição como facilitadores e auxiliadores na transição para EC. Segundo, estas tecnologias geram um grande impacto no aproveitamento dos resíduos alimentares dentro do bloco de construção da EC. Pois a

eficiente, eficaz e efetiva dos resíduos alimentares dependem de um olhar sistêmico e holístico sobre o bloco de construção da EC facilitando por estas tecnologias e tecnologias correlatas. Terceiro, suas funções, contribuições e aplicabilidades das tecnologias blockchain e inteligência artificial são promissoras para tornar as cadeias de valor mais inteligentes, isto é, baseado em dados que pode acontecer em tempo real. E a utilização destes dados na cadeia facilita na modelagem de cada empresa ou organização.

Participante do ecossistema para oferecer uma proposta de valor circular compartilhado e ajudará a tomar decisões mais estratégicas para sua capacidade de ciclos reversos, tanto do ponto de vista de ciclos biológicos ou ciclos técnicos e nortear que tipos de condições sistêmicas ou condições habilitadoras a cadeia precisa como: leis governamentais, mudanças de comportamento, centro de pesquisas, universidades, sociedade civil.

Porém, este trabalho propõe temas como aprendizagem compartilha e colaborativa na cadeia de valor para oferecer valor circular, pois com a digitalização e apesar dos seus desafios, ainda assim temos grande oportunidade para gerar aprendizagem organizacional, mas do que isso, ter cadeia de valor que aprendem.

REFERÊNCIAS

[1] Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., Torres de Oliveira, R., Jha, S., 2021a. Enhancing the circular and modified linear economy: The importance of blockchain for developing economies. Resour. Conserv. Recycl. 168. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105468

[2] Ajwani-Ramchandani, R., Figueira, S., Torres de Oliveira, R., Jha, S., Ramchandani, A., Schuricht, L., 2021b. Towards a circular economy for packaging waste by using new technologies: The case of large multinationals in emerging economies. J. Clean. Prod. 281. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125139

[3] Al-Khateeb, S.A., Hussain, A., Lange, S., Almutari, M.M., Schneider, F., 2021. Battling food losses and waste in saudi arabia: Mobilizing regional efforts and blending indigenous knowledge to address global food security challenges. Sustain. 13, 1–19. https://doi.org/10.3390/su13158402

[4] Amentae, T.K., Gebresenbet, G., 2021. Digitalization and future agro-food supply chain management: A literature-based implications. Sustain. 13. https://doi.org/10.3390/su132112181

[5] Bašić, J., Jovčić, L., Janić, L., 2020. Peter Lacy, Jessica Long, Wesley Spindler: The circular economy handbook: Realizing the circular advantage, Palgrave Macmillan, UK, 2020. Ekon. Poljopr. 67, 601–608. https://doi.org/10.5937/ekopolj2002601b 23

[6] Bhutta, M.N.M., Ahmad, M., 2021. Secure Identification, Traceability and Real-Time Tracking of Agricultural Food Supply during Transportation Using Internet of Things. IEEE Access 9, 65660–65675. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3076373

[7] Bianchini, A., Rossi, J., Pellegrini, M., 2019. Overcoming the main barriers to the implementation of the circular economy through a visualization tool for circular business models in Ecuador. Sustain. 11.

[8] Bos, H.L., Broeze, J., 2020. Circular bio-based production systems in the context of current biomass and fossil demand. Biofuels, Bioprod. Bioref 14, 187–197. https://doi.org/10.1002/bbb.2080

[9] Chauhan, C., Sharma, A., Singh, A., 2019. A SAP-LAP linkages framework for integrating Industry 4.0 and circular economy. Benchmarking 28, 1638–1664. https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0310

[10] Chen, W.M., Kim, H., 2019. Circular economy and energy transition: A nexus focusing on the non-energy use of fuels. Energy Environ. 30, 586–600. https://doi.org/10.1177/0958305X19845759

[11] Chidepatil, A., Bindra, P., Kulkarni, D., Qazi, M., Kshirsagar, M., Sankaran, K., 2020. From trash to cash: How blockchain and multi-sensor-driven artificial intelligence can transform circular economy of plastic waste? Adm. Sci. 10, 1–16. https://doi.org/10.3390/admsci10020023

[12] Dahiya, S., Kumar, A.N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., Mohan, S.V., 2018. Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. Bioresour. Technol. 248, 2–12. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176

[13] de Oliveira, C.T., Mônica, M.M.M., Campos, L.M.S., 2019. Understanding the Brazilian expanded polystyrene supply chain and its reverse logistics towards circular economy. J. Clean. Prod. 235, 562–573. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.319

[14] Demestichas, K., Daskalakis, E., 2020a. Information and communication technology solutions for the circular economy. Sustain. 12, 1–19. https://doi.org/10.3390/su12187272

[15] Demestichas, K., Daskalakis, E., 2020b. Information and communication technology 24 solutions for the circular economy. Sustain. 12, 1–19. https://doi.org/10.3390/su12187272

[16] Elsbach, K.D., van Knippenberg, D., 2020. Creating High-Impact Literature Reviews: An Argument for 'Integrative Reviews.' J. Manag. Stud. 57, 1277–1289. https://doi.org/10.1111/joms.12581

[17] Gebhardt, M., Kopyto, M., Birkel, H., Hartmann, E., 2021. Industry 4.0 technologies as enablers of collaboration in circular supply chains: a systematic literature review. Int. J. Prod. Res. 0–29. https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1999521

[18] Han, J., Heshmati, A., Rashidghalam, M., 2020. Circular economy business models with a focus on servitization. Sustain. 12, 1–17. https://doi.org/10.3390/su12218799

[19] Hanumante, N.C., Shastri, Y., Hoadley, A., 2019. Assessment of circular economy for global sustainability using an integrated model. Resour. Conserv. Recycl. 151, 104460. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.104460

[20] Hassoun, A., Aït-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A.M., Rathod, N.B., Bader, F., Barba, F.J., Biancolillo, A., Cropotova, J., Galanakis, C.M., Jambrak, A.R., Lorenzo, J.M., Måge, I., Ozogul, F., Regenstein, J., 2022. The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 0, 1–17. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2034735

[21] Hjaltadóttir, R.E., Hild, P., 2021. Circular Economy in the building industry European policy and local practices. Eur. Plan. Stud. 29, 2226–2251. https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1904838

[22] Holmberg, T., Ideland, M., 2021. The circular economy of food waste: Transforming waste to energy through 'make-up' work. J. Mater. Cult. 26, 344–361. https://doi.org/10.1177/13591835211002555

[23] Hoosain, M.S., Paul, B.S., Ramakrishna, S., 2020. The impact of 4ir digital technologies and circular thinking on the united nations sustainable development goals. Sustain. 12, 1–16. https://doi.org/10.3390/su122310143

[24] Hopia, H., Latvala, E., Liimatainen, L., 2016. Reviewing the methodology of an integrative review. Scand. J. Caring Sci. 30, 662–669. https://doi.org/10.1111/scs.12327

[25] Ingemarsdotter, E., Jamsin, E., Kortuem, G., Balkenende, R., 2019. Circular strategies 25 enabled by the internet of things-a framework and analysis of current practice. Sustain. 11. https://doi.org/10.3390/su11205689

[26] Isenhour, C., Haedicke, M., Berry, B., MacRae, J., Blackmer, T., Horton, S., 2022. Toxicants, entanglement, and mitigation in New England's emerging circular economy for food waste. J. Environ. Stud. Sci. https://doi.org/10.1007/s13412-021-00742-w

[27] Jensen, P.D., Orfila, C., 2021. Correction to: Mapping the production-consumption gap of an urban food system: an empirical case study of food security and resilience (Food Security, (2021), 13, 3, (551-570), 10.1007/s12571-021-01142-2). Food Secur. 13, 1069. https://doi.org/10.1007/s12571-021-01170-y

[28] Kanwal, Q., Li, J., Zeng, X., 2021. Mapping Recyclability of Industrial Waste for Anthropogenic Circularity: A Circular Economy Approach. ACS Sustain. Chem. Eng. 9, 11927–11936. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c04139

[29] Kawashima, N., Yagi, T., Kojima, K., 2019. How Do Bioplastics and Fossil-Based Plastics Play in a Circular Economy? Macromol. Mater. Eng. 304, 1–14. https://doi.org/10.1002/mame.201900383

[30] Khan, P.W., Byun, Y.C., Park, N., 2020. IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning. Sensors (Switzerland) 20, 1–24. https://doi.org/10.3390/s20102990

[31] Khan, S.A.R., Shah, A.S.A., Yu, Z., Tanveer, M., 2022. A systematic literature review on circular economy practices: challenges, opportunities and future trends. J. Entrep. Emerg. Econ. https://doi.org/10.1108/JEEE-09-2021-0349

[32] Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., Birkie, S.E., 2018. Circular economy as an essentially contested concept. J. Clean. Prod. 175, 544–552. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.111

[33] Kusumowardani, N., Tjahjono, B., Lazell, J., Bek, D., Theodorakopoulos, N., Andrikopoulos, P., Priadi, C.R., 2022. A circular capability framework to address food waste and losses in the agri-food supply chain: The antecedents, principles and outcomes of circular economy. J. Bus. Res. 142, 17–31. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.020

[34] Manavalan, E., Jayakrishna, K., 2019. An Analysis on Sustainable Supply Chain for Circular 26

[35] Economy. Procedia Manuf. 33, 477–484. https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2019.04.059

[36] Mboli, J.S., Thakker, D.K., Mishra, J.L., 2020. An Internet of Things-enabled decision support system for circular economy business model. Softw. - Pract. Exp. 772–787. https://doi.org/10.1002/spe.2825

[37] Millar, N., McLaughlin, E., Börger, T., 2019. The Circular Economy: Swings and Roundabouts? Ecol. Econ. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.012

[38] Mura, M., Longo, M., Zanni, S., 2020. Circular economy in Italian SMEs: A multi-method study. J. Clean. Prod. 245, 118821. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.118821

[39] Nandi, S., Hervani, A.A., Helms, M.M., Sarkis, J., 2021. Conceptualising Circular economy performance with non-traditional valuation methods: Lessons for a post-Pandemic recovery. Int. J. Logist. Res. Appl. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1974365

[40] Ortega-Gil, M., Cortés-Sierra, G., ElHichou-Ahmed, C., Sánchez-Bayón, A., Trincado, E., Alberto Valero-Matas, J., Rávina-Ripoll, R., 2021. The Effect of Environmental Degradation, Climate Change, and the European Green Deal Tools on Life Satisfaction. https://doi.org/10.3390/en14185839

[41] Pereira, A., Shitsuka, D., Parreira, F., Shitsuka, R., 2018. Método Qualitativo, Quantitativo ou Quali-Quanti, Metodologia da Pesquisa Científica.

[42] Pires, A., Martinho, G., 2019. Waste hierarchy index for circular economy in waste management. Waste Manag. 95, 298–305. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.06.014

[43] Rejeb, A., Rejeb, K., Abdollahi, A., Zailani, S., Iranmanesh, M., Ghobakhloo, M., 2022. Digitalization in food supply chains: A bibliometric review and key-route main path analysis. Sustain. 14, 1–29. https://doi.org/10.3390/su14010083

[44] Sadhukhan, J., Dugmore, T.I.J., Matharu, A., Martinez-Hernandez, E., Aburto, J., Rahman, P.K.S.M., Lynch, J., 2020. Perspectives on "game changer" global challenges for sustainable 21st century: Plant-based diet, unavoidable food waste biorefining, and circular economy. Sustain. 12. https://doi.org/10.3390/su12051976

[45] Saldarriaga-Hernandez, S., Hernandez-Vargas, G., Iqbal, H.M.N., Barceló, D., Parra-Saldívar, R., 2020. Bioremediation potential of Sargassum sp. biomass to tackle 27 pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. Sci. Total Environ. 715, 136978. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.136978

[46] Sankaran, K., 2020. Spaceborne radar remote sensing of ocean surfaces: electromagnetic modelling and applications. J. Electromagn. Waves Appl. 34, 1–34. https://doi.org/10.1080/09205071.2019.1696237

[47] Sankaran, K., 2019. Carbon emission and plastic pollution: How circular economy, blockchain, and artificial intelligence support energy transition? J. Innov. Manag. 7, 7–13. https://doi.org/10.24840/2183-0606_007.004_0002

[48] Santagata, R., Ripa, M., Genovese, A., Ulgiati, S., 2021. Food waste recovery pathways: Challenges and opportunities for an emerging bio-based circular economy. A systematic review and an assessment. J. Clean. Prod. 286, 125490. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.125490

[49] Schanes, K., Dobernig, K., Gözet, B., 2018. Food waste matters - A systematic review of household food waste practices and their policy implications. J. Clean. Prod. 182, 978–991. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030

[50] Searchinger, T., Hanson, C., Ranganathan, J., Lipinski, B., Waite, R., Winterbottom, R., Dinshaw, A., Heimlich, R., Boval, M., Chemineau, P., Dumas, P., Guyomard, H., Kaushik, S., Makowski, D., Manceron, S., Ben, T., 2014. Creating a sustainable food future. A menu of solutions to sustainably feed more than 9 billion people by 2050. World resources report 2013-14: interim findings. World Resour. Inst. 558.

[51] Singh, S., Sharma, P.K., Yoon, B., Shojafar, M., Cho, G.H., Ra, I.H., 2020. Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city. Sustain. Cities Soc. 63, 102364. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102364

[52] Singhal, D., Tripathy, S., Jena, S.K., 2020. Remanufacturing for the circular economy: Study and evaluation of critical factors. Resour. Conserv. Recycl. 156, 104681. https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.104681

[53] Souza, M.T. De, Dias, M., Carvalho, R. De, 2010. Revisão integrativa : o que é e como fazer 8, 102–106.

[54] Su, C., Urban, F., 2021. Circular economy for clean energy transitions: A new opportunity under the COVID-19 pandemic. Appl. Energy 289, 116666. 28 https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.116666

[55] Syberg, K., Nielsen, M.B., Westergaard Clausen, L.P., van Calster, G., van Wezel, A., Rochman, C., Koelmans, A.A., Cronin, R., Pahl, S., Hansen, S.F., 2021. Regulation of plastic from a circular economy perspective. Curr. Opin. Green Sustain. Chem. 29, 100462. https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2021.100462

[56] Ursi, E.S., Gavão, C.M., 2006. Prevenção de lesões de pele no perioperatório: revisão integrativa da literatura. Rev. Lat. Am. Enfermagem 14, 124–131. https://doi.org/10.1590/s0104-11692006000100017

[57] Wang, Y., Han, J.H., Beynon-Davies, P., 2019. Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. Supply Chain Manag. 24, 62–84. https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0148

[58] Whittemore, R., Knafl, K., 2005. The integrative review: Updated methodology. J. Adv. Nurs. 52, 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

[59] Xue, J., Liu, G., Casazza, M., Ulgiati, S., 2018. Development of an urban FEW nexus online analyzer to support urban circular economy strategy planning. Energy 164, 475–495. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.08.198

[60] Yang, L., Wang, X.C., Dai, M., Chen, B., Qiao, Y., Deng, H., Zhang, D., Zhang, Y., Villas Bôas de Almeida, C.M., Chiu, A.S.F., Klemeš, J.J., Wang, Y., 2021. Shifting from fossil-based economy to bio-based economy: Status quo, challenges, and prospects. Energy 228, 120533. https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.120533

[61] Zhu, Q., Kouhizadeh, M., 2019. Blockchain Technology, Supply Chain Information, and Strategic Product Deletion Management. IEEE Eng. Manag. Rev. 47, 36–44. https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2898178

Capítulo 6

Motor de indução funcionado no sistema MRT com uso de capacitor permanente

Eduardo David
Vitor Prampero

Resumo: A eletrificação rural no Brasil ocorreu de forma lenta e desigual, ofertando grandes potências aos grandes centros e deixando de lado as áreas rurais. Diante de todas as dificuldades de implementação do Sistema Convencional Trifásico, a COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) implantou o sistema MRT (Monofilar com Retorno por Terra) no ano de 1967 por todo o estado do Paraná, visando atender consumidores mais afastados dos grandes centros de forma mais econômica. O sistema MRT é dotado de algumas características peculiares, sendo uma das mais marcantes a defasagem de forma de ondas, que acarreta em uma diferença de potencial 15% maior do que no Sistema Convencional Trifásico. Os motores elétricos de indução têm grande uso em áreas rurais, sendo utilizado em diversas funções nas agroindústrias, desde trituradores à resfriadores de grande porte. Os motores elétricos de indução fabricados para funcionar no sistema de distribuição convencional trifásico que operam com diferença de potencial entre fases de 220v, quando ligados no sistema MRT com diferença de potencial entre fases de 254v, apresentam menores valores fator de potência e potência ativa. O objetivo do presente trabalho foi testar a hipótese de melhorar o fator de potência de um motor originalmente fabricado para operar na tensão de 220 V, funcionado na tensão de 254 V e fazendo uso de um capacitor permanente da fabricante EPCOS de 50 µF como alternativa à ser utilizada em substituição à necessidade de se rebobinar o mesmo para a tensão de 254 V. As analises indicaram que houve melhora nos valores de potência ativa e fator de potência, porém não dentro do nível de significância de 5%, abrindo desta forma possibilidade para estudos futuros com outros capacitores.

Palavras-chave: Motor de indução, Potência ativa, Fator de Potência

1. INTRODUÇÃO

Segundo Lawder (2012) a eficiência energética é um conceito que está diretamente ligado ao crescimento de produtividade e também ao desenvolvimento sustentável, minimizando as perdas e, portanto, maximizando os efeitos desejados.

De acordo com Cruz et al. (2004) o modelo atual de geração e transmissão de grandes blocos de potência diretamente aos grandes centros consumidores, também contribuiu para a falta de atendimento as áreas rurais mais distantes.

A eletrificação rural é uma das ferramentas essenciais que contribuem para se reduzir o êxodo rural que há décadas ocorre de forma sistêmica no Brasil. A energia elétrica no campo propicia um salto na qualidade de vida (infraestrutura, serviços básicos, iluminação e eletrodomésticos) e o aumento da produtividade rural, os quais contribuem para uma elevação do nível social e econômico da população local (SILVA, 2006).

Dentre os sistemas alternativos de distribuição de energia elétrica, o emprego do sistema Monofilar com Retorno por Terra (MRT) pode se tornar viável economicamente, atendendo pequenas cargas e proporcionando economia no custo de implementação do sistema. Entretanto, é necessário o conhecimento das cargas elétricas a serem supridas, a expectativa de crescimento natural do sistema e as características ambientais da região a ser atendidas. Estes fatores são fundamentais para se verificar a viabilidade da implantação de sistemas alternativos de eletrificação (SILVA, 2006).

Os motores elétricos no meio rural representam uma parcela significativa no valor final da fatura de energia. Assim sendo, uma das formas de diminuir custos de energia é a melhora na eficiência dos motores (FINOCCHIO, 2013).

O presente trabalho tem como objetivo estudar uma possível melhora de desempenho elétrico de um motor de indução monofásico assíncrono ligado na maior tensão (220 V) trabalhando no sistema MRT (254 V) com auxílio de um capacitor permanente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no estado do Paraná, no município de Cianorte, em uma agroindústria de produção de ovos.

A agroindústria é alimentada pelo sistema MRT, com apenas um condutor com 19,9 kV de tensão, resultando em tensões de 127/254V após a redução realizada pelo transformador monofásico.

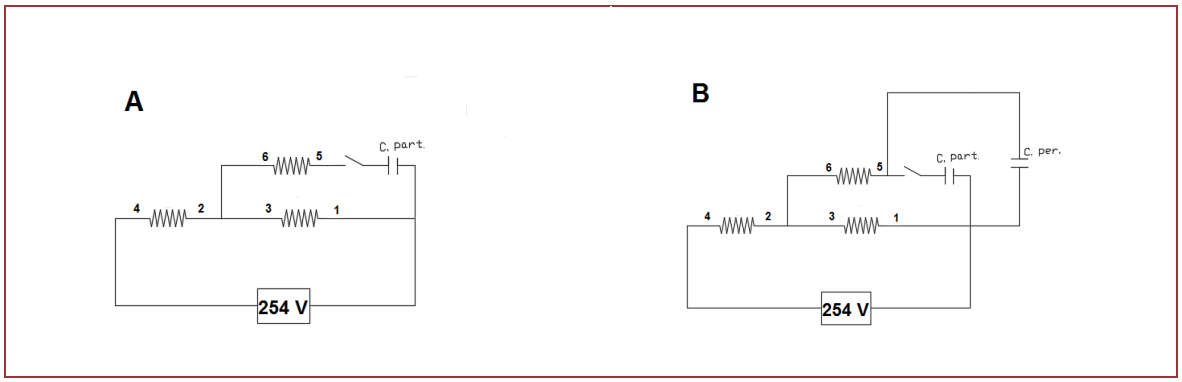
O motor elétrico de indução utilizado para as coletas possui 1,5 CV de potência com possibilidade de trabalho nas tensões de 127 e 220V, consumo de 21,6A e 10A respectivamente, O mesmo conta com sistema de capacitor de partida, de especificação: 2x270-324μF.

O capacitor utilizado acoplado ao motor na função de capacitor permanente é de 50μF, podendo haver variações de 10%, trabalhando em 250V com frequências de 50 a 60Hz

Para a coleta de dados foi utilizado o analisador de energia marca EMBRASUL, modelo RE4000, portando display LCD de duas linhas, 16 colunas e teclado, capazes de permitir a navegação e parametrização do mesmo, para posterior geração automática de relatórios gráficos e descritivos.

A coleta de dados foi realizada em duas etapas. Na primeira foram coletados dados de energia do motor com enrolamento original (acionamento em 220 V) no sistema MRT com 254 V e capacitor ligado em paralelo ao de partida de forma permanente (Figura 1 (B)). Na segunda etapa foram coletados os dados de energia com o motor reenrolado para 260 V funcionando no sistema MRT de 254 V(Figura 1 (A).

Figura 1. (A) Esquema de ligação do motor na maior tensão (**B)** Esquema de ligação do capacitor permanente em *by pass*, e motor ligado na maior tensão.

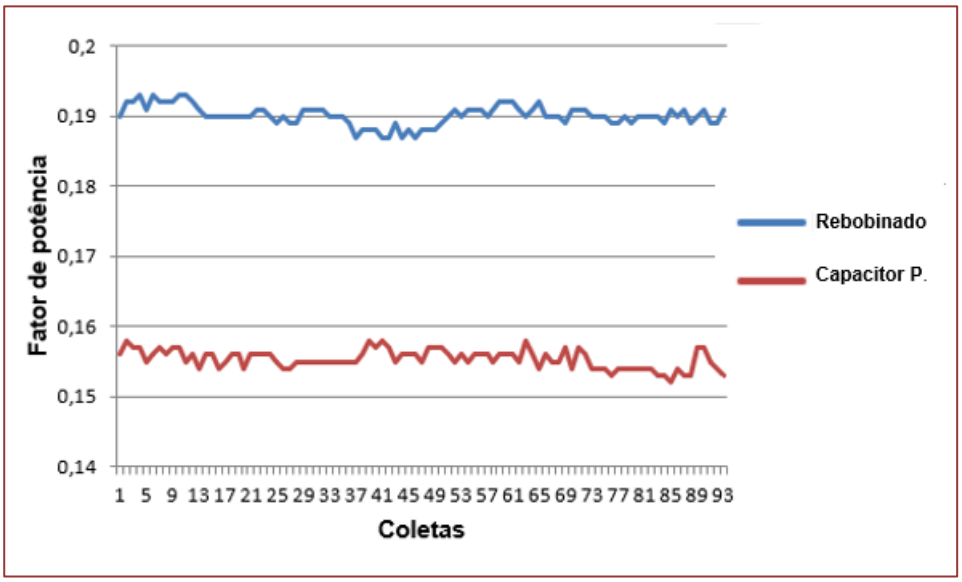


O intervalo de coleta de dados foi de 15 minutos. As variáveis elétrricas coletadas com auxílio do analisador de energia foram: tensão; corrente; potência reativa; potência ativa; potencia aparente e fator de potência.

Efetuou-se a Analise de variância e o método estatístico Teste de Tukey verificando o comportamendo das variaveis Potência Ativa e Fator de Potência em ambas coletas de dados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 2. Valores de Fator de Potência coletados com o motor com o capacitor permanente instalado e com o motor rebobinado para 260v, ambos na agroindústria.



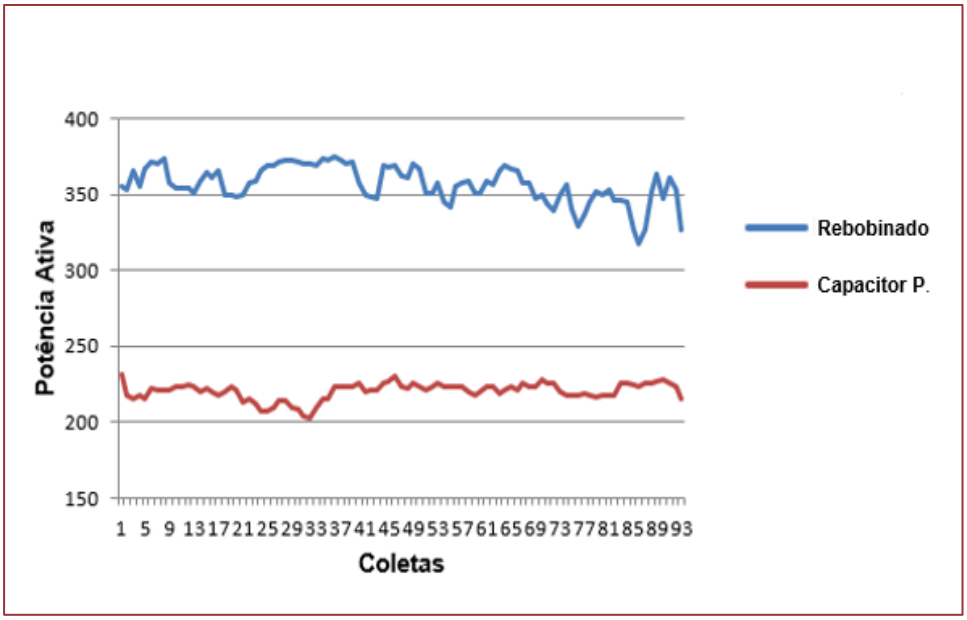
Mediante a análise do gráfico (figura 2), podemos notar diferença nos valores de fator de potência em relação as duas etapas da coleta. Os valores médios do fator de potência para o motor rebobinado e com o capacitor permanente foram de 0,190118 e 0,155365 respectivamente. Isso evidencia que o referido motor fabricado para operar na maior tensão em 220 V com acréscimo do capacitor permanente, quando em funcionamento no sistema MRT submetido à tensão de 254 V, sem carga, consome mais energia elétrica para estabelecer e manter seu campo magnético em relação ao mesmo motor com enrolamento adequado aos 254 V.

Tabela 1: Analise estatística da variável elétrica Fator de potência em ambos os tratamentos.

Tratamentos	Média	Fator de potência (%)
Rebobinado	0,190188	100
Capacitor P.	0,155365	81,72

Analisando a Tabela 1, podemos perceber que o fator de potência do motor com enrolamento original e adição do capacitor permanente não se situou dentro do nível de significância de 5% em relação ao motor rebobinado.

Figura 3 Valores de Potência ativa coletados com o motor com o capacitor permanente instalado e com o motor rebobinado para 260v



Analisando o gráfico (figura 3), é possível concluir que os valores de potência ativa do motor com enrolamento original para 220 v com uso do capacitor permanente se situaram abaixo dos valores de potência ativa do motor rebobinado para 260 V, o que caracteriza um pior aproveitamento do uso da energia elétrica pelo motor com enrolamento original com capacitor permanente.

Tabela 2: Analise estatística da variável elétrica Potência Ativa em ambos os tratamentos.

Tratamentos	Média	Potência Ativa (%)
Rebobinado	356,8891	100
Capacitor P.	220,3427	61,73

Analisando a Tabela 2, podemos perceber que a Potência Ativa do motor com enrolamento original e adição do capacitor permanente não se situou dentro do nível de significância de 5% em relação ao motor rebobinado.

4. CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos dados coletados com o motor operando nas duas configurações, pode-se concluir que um motor elétrico fabricado para funcionar na maior tensão (220 V) e acrescido de um capacitor permanente EPCOS de 50μF, quando ligado sem carga no sistema MRT (tensão de 254 V), apresenta redução do Fator de Potência e diminuição da Potência Ativa em relação ao motor enrolado para 254 V trabalhando no sistema MRT de 254 V. Portanto podemos concluir que a hipótese inicial de melhorar o fator de potência de um motor enrolado para trabalhar na tensão de 220 V funcionado na tensão de 254 V, com uso de um capacitor permanente da fabricante EPCOS de 50 μF como alternativa à ser utilizada em substituição à necessidade de se rebobinar o mesmo para a tensão de 254 V é válida, pois em relação aos dados obtidos por Burakowski (2015) em que o mesmo motor trabalhou ligado à rede MRT a 254 V com enrolamento original sem o capacitor permanente, houve um aumento nos valores fator de potência encontrados, porém ainda não o suficiente para se igualarem ao motor rebobinado para 254V para um nível de significância de 5%.

REFERÊNCIAS

[1] BURAKOWSKI. R. X. **Análise comparativa do comportamento elétrico de um motor de indução operando nos sistemas de distribuição convencional e mrt.** 2015, 45p.Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Estadual de Maringá 2015.

[2] CRUZ, C. N. P.; MOURAND, A. L.; MORÍNIGO, M. A.; SANGA, G. Eletrificação rural: benefícios em diferentes esferas. **Encontro de energia no meio rural**, v.1, n.5, 2004.

[3] FINOCCHIO, M. A. F.**Manutenção elétrica**. Apostila de apoio didático – Universidade Técnologica Federal do Paraná - UTFPR,Cornélio Procópio, Brasil, 5ª revisão,72p. Dezembro de 2013.

[4] LAWDER, J. H. **Análise energética e econômica em uma agroindústria de laticínios.** 2012. 93f. Dissertação (Mestrado – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, Fevereiro 2012.

[5] SILVA, M. R. **Avaliação de alternativa para eletrificação rural no contexto dos programas de universalização do atendimento de energia no Brasil**. 2006. 187f. Dissertação - Universidade Federal De Minas Gerais. Belo Horizonte, abril 2006.

Capítulo 7

Estratégias nutricionais e ambientais que podem ser adotadas para aves em estresse térmico e os impactos sobre a produtividade e bem-estar desses animais

Pedro Afonso de Souza Ezidio
Luany Emanuella Araujo Marciano
Marcos Adriano Pereira Barbosa
Uilquer Silva dos Santos
Simara Marcia Marcato

Resumo: O capítulo aborda o estresse térmico em aves, especialmente frangos de corte, que se torna mais intenso devido à alta produtividade e densidade de criação. As aves enfrentam dificuldades em regular sua temperatura corporal em ambientes quentes, resultando em redução do consumo de ração e comprometendo a produtividade. O gasto energético para manter o equilíbrio térmico pode ser significativo, limitando a energia disponível para crescimento e manutenção. Diversas estratégias e ferramentas são discutidas para mitigar os efeitos do estresse térmico, como melhorias na infraestrutura dos galpões (localização, ventilação, sombreamento) e técnicas de resfriamento, incluindo ventilação natural e evaporativa. A escolha dos materiais de construção, como telhas com isolamento térmico e a pintura dos telhados, também desempenha um papel crucial. O manejo nutricional é igualmente importante, podendo ser ajustado para reduzir a produção de calor. Isso inclui a manipulação de níveis de proteína e energia nas dietas, bem como a adição de aminoácidos essenciais e eletrólitos, além de aditivos à base de plantas que ajudam a aliviar o estresse térmico. Além disso, o texto desse capítulo enfatiza a necessidade de monitorar o comportamento das aves para identificar sinais de estresse e tomar medidas corretivas rapidamente. Estratégias integradas que combinam melhorias ambientais e ajustes nutricionais são fundamentais para otimizar a saúde e o desempenho das aves, contribuindo para uma produção avícola mais sustentável.

Palavras-chave: manejo nutricional; produtividade; temperatura corporal.

1. INTRODUÇÃO

O estresse térmico em aves ocorre quando elas não conseguem regular adequadamente sua temperatura corporal devido a condições ambientais desfavoráveis. A alta seleção para aumento da taxa de crescimento, o modelo de produção, baseado na alta produtividade e densidade, fez com que os frangos de corte se tornassem mais sensíveis a mudanças ambientais. A temperatura ambiente constitui como fator determinante na quantidade de alimento consumido pelas aves, influenciando assim de forma direta os ganhos com a produtividade. Segundo Koh e Macleod (1999) em ambientes frios o consumo de alimento é estimulado para se obter maior produção de calor, enquanto que em ambientes quentes ocorre redução na ingestão de ração, na tentativa de diminuir o calor gerado pelo metabolismo dos nutrientes.

O gasto de energia para permanecer em equilíbrio térmico em um ambiente com condições térmicas desfavoráveis, pode chegar a atingir 80 % do total da energia consumida, restando apenas 20 % da energia para ser utilizada para produção e manutenção (ABREU & ABREU, 2011). Com isso ao longo dos anos surgiram inúmeras ferramentas destinadas a reduzir o impacto do estresse térmico sobre as aves incluindo desde a localização, disponibilidade de sombra, passando por resfriamento evaporativo com água em forma de névoa, utilização de ventilação natural ou forçada, e sistemas de fornecimento de água mais fresca para as aves (SILVA et al, 2010; ABREU & ABREU, 2011). Uma vez que investir em medidas simples podem auxiliar na minimização dos efeitos do calor, sem necessidade de altos custos.

Outras estratégias como: pintura de telhado, no caso de telhas de fibrocimento ou galvanizadas, altura adequada das instalações, a posição das construções (leste-oeste), utilização de cortinas e materiais isolantes para reduzir a exposição direta ao sol, e o manejo correto da água de bebida, com a oferta de água fresca e estratégias de resfriamento e alimentação, bem como, o uso de telhas de barro e material de boa absorção e isolamento térmico no chão, auxilia em um melhor ambiente térmico para o conforto animal (SILVA et al, 2010).

Com isso, essa revisão tem como objetivo discutir estratégias nutricionais e ambientais que podem ser adotadas para mitigar o estresse térmico em aves, especialmente frangos de corte. Analisando como o estresse térmico afeta a capacidade das aves de regular a temperatura corporal, influenciando negativamente o consumo de ração e, consequentemente a produtividade e o bem-estar animal.

2. DESENVOLVIMENTO

As condições ambientais requeridas pelos animais podem ser atendidas por edificações a partir de uma boa concepção arquitetônica, planejada e construída para diminuir a ação direta dos fatores climáticos (CARDOSO et al., 2011). A orientação leste-oeste em galpões é recomendada, a fim de minimizar a incidência direta do sol sobre as aves através das laterais da instalação (NASCIMENTO et al., 2014; COELHO et al., 2015; Rosa et al., 2017). Sombreamento e proteção solar, sendo uma estrutura que ofereçam sombra, como árvores ou telas “sombrites”, ajudam a reduzir a exposição direta ao sol, minimizando a absorção de calor.

A cobertura é elemento construtivo mais importante de uma edificação, e tal fato deve-se à grande área de interceptação de calor, assim como, também o irradia, e por essa propriedade variar conforme as características térmicas dos materiais, a escolha

adequada da telha torna-se fator principal para o conforto térmico (SAMPAIO et al., 2011; SANTOS, 2018). Cravo et al. (2009) descrevem que o ambiente das instalações deve ser planejado com isolamento térmico a fim de reduzir os efeitos negativos diretos do clima sobre as aves.

A pintura do telhado é um artifício simples e eficiente na redução da temperatura de aviários. As telhas com um isolamento térmico, são mais efetivas, principalmente quando pintadas com tinta acrílica branca (COELHO, 2019). A cor branca da superfície externa do telhado é eficiente na redução da temperatura da superfície interna da cobertura, pois reduz em até 9,0°C a temperatura no horário das 13 horas (SARMENTO et al., 2005).

O forro sob o telhado também é uma alternativa de conforto térmico para as aves uma vez que serve como barreira física à radiação recebida e emitida pela cobertura no interior do aviário, permite a formação de camada de ar junto à cobertura contribuindo na redução da transferência de calor para o interior do galpão (ABREU et al., 2007). Segundo Castro (2012), ao adicionar o forro na cobertura (cerâmica e fibrocimento), ocorre redução geral nos valores de índice de temperatura do globo e umidade. Para Abreu et al. (2007), a utilização de forro sob o telhado permite aumentar a densidade de criação de frangos e melhorar o desempenho das aves.

A cor das cortinas usadas pode influenciar as condições térmicas do interior do aviário. De acordo com Vercellino et al. (2013) a cortina de cor azul confere melhor ambiente térmico para frangos de corte quando comparado as cores preta e amarela. Porém, Abreu et al. (2008) observaram melhores resultados de desempenho de frangos de corte para lotes de verão em aviários com cortina amarela.

A climatização se torna então, uma saída estratégica para se criar uma situação de certa independência do clima externo, pois é difícil atingir o conforto térmico no interior das instalações avícolas, face às condições climáticas. As instalações devem proporcionar boa ventilação para permitir a circulação do ar. Ventiladores, exaustores e nebulizadores são ferramentas úteis para garantir um ambiente mais fresco para as aves. É importante ressaltar que o acondicionamento térmico climatizado pode então ser por pressão positiva ou pressão negativa.

Os aviários que trabalham com pressão positiva são aqueles que possuem forro, cortina e ventiladores com planejamento quanto a sua posição (transversal ou longitudinal) (ABREU & ABREU, 2011). O aumento da velocidade de circulação do ar através da utilização de ventiladores pode aliviar o estresse térmico uma vez que aumenta as trocas de calor do animal com o ambiente (YAHAV et al., 2004).

Os aviários de pressão negativa são aqueles considerados mais modernos, sendo aviários com maior controle das condições térmicas. Nestes o ar é sugado de dentro para fora da instalação por exaustores, e as cortinas devem sempre permanecem fechadas, para que só haja entrada de ar pela placa evaporativa, essas que por sua vez são instaladas no início do aviário sendo geralmente utilizados painéis de celulose na sua composição, por onde a água circula e quando o ar quente passa pela água na placa, transfere o calor para a água, evaporando-a, entrando com uma temperatura mais amena no interior do galpão (ANDREAZZI et al., 2018) e isso garante uma maior eficiência no controle de temperatura e umidade (OLIVEIRA & GAI, 2016).

Na aplicação do sistema de resfriamento evaporativo, realizada com placas porosas e nebulização, ocorre uma alteração ambiental a partir da mudança do estado da água e da temperatura, melhorando as condições de conforto térmico das aves em climas quentes.

A nebulização, que consiste em pequenas partículas de água pulverizadas no ar, no interior dos galpões permite o controle da temperatura e umidade do ambiente. O manejo sincronizado do sistema de ventilação e nebulização mostra-se eficiente para controlar os níveis de estresse nas aves dentro de certas temperaturas ambientais, porém muitas vezes ocorre a ineficiência desse sistema quando o clima se encontra em temperaturas muito elevadas (BUENO & ROSSI, 2006).

A manutenção de temperatura da água durante dias quentes é essencial, sendo que a água disponível para as aves deve ser mantida em temperaturas mais baixas, entre 18 e 24 graus Celsius. Isso pode ser alcançado por meio de sistemas de refrigeração ou técnicas de esvaziamento e reposição frequente da água, conhecidas como “flusing” (FERRI, 2023).

Observar o comportamento das aves, como aglomeração, abertura de asas e respiração ofegante, pode ser um indicativo de que elas estão sofrendo estresse térmico. Esses sinais devem alertar os produtores para implementar medidas corretivas rapidamente (FERRI, 2023). Essas estratégias de manejo são essenciais para garantir o bem-estar das aves, minimizar as perdas de desempenho e reduzir a mortalidade em granjas durante períodos de calor intenso, contribuindo assim para a sustentabilidade e eficiência da produção avícola.

Na fase inicial da produção existe um grande problema no aquecimento que está ligado à deficiência de isolamento térmico dos galpões, que na maioria das vezes se apresentam incapazes de atingir a temperatura desejável para o conforto térmico das aves (CASSUCE, 2011) ou na baixa distribuição das saídas de ar quente das tubulações do forno.

Muitos avicultores atualmente ainda durante o inverno ou para evitar correntes de ar sobre os pintinhos durante o alojamento, montam as sobrecortinas, que consistem em cortinas extras instaladas do lado de dentro da tela, que são colocadas por toda extensão do pinteiro. Essa estrutura evita que o calor obtido seja perdido através de frestas das portas e algumas irregularidades da cortina do galpão. São montadas também cortinas laterais com o objetivo de não deixar com que o vento utilizado na renovação de ar (ventilação mínima) incida direto sobre as aves, pois se o vento passar por elas ocorrerá um resfriamento significativo do pintinho (FERRI, 2023).

Após 24 horas do alojamento, é realizado o “teste de papo”, que consiste em averiguar se os pintinhos tiveram acesso à água e ao alimento, através da palpação. De acordo com Cobb (2009), recomenda-se que 95% dos papos das aves estejam macios e flexíveis ao toque, indicando que os pintos tiveram acesso à água e à ração.

O avicultor deve estar prevenido para atuar quando há uma onda de calor ou quando há queda no fornecimento de energia elétrica, uma vez que a produção de frangos de corte é altamente dependente do fornecimento energético em quantidade e qualidade. Como medida preventiva na falta de energia elétrica, a granja deve possuir gerador de energia para manter os sistemas de climatização em funcionamento evitando a mortalidade dos frangos. Esses geradores devem garantir o pleno funcionamento dos equipamentos do aviário por pelo menos uma hora até o restabelecimento da queda de energia. Os geradores, podem ser de óleo diesel ou estarem conectados à tomada de força do trator (ABREU, 2019).

Apesar de todos os esforços empreendidos na aplicação de sistemas de automação de controle de temperatura a fim de se monitorar os efeitos adversos do ambiente nos quais as aves são produzidas, ainda é muito difícil conseguir resultados satisfatórios, seja por

consequências nos custos de produção ou mesmo por dificuldades de manutenção (TEYSSIER et al., 2022).

Portanto, além de melhorar o ambiente de alojamento das aves, fazer uma manipulação nutricional pode contribuir para aliviar os impactos negativos do estresse térmico, considerando que algumas modificações térmicas ambientais são onerosas, a manipulação nutricional da dieta é considerada uma ferramenta para otimizar o desempenho de frangos de corte durante períodos de temperaturas não tão agradáveis, com consequentes benefícios econômicos.

Dentre as ferramentas, podemos citar as mudanças nos níveis da proteína e da energia da dieta, utilização de sais via água de bebida ou ração, utilização de vitaminas e manejo da água de bebida, alterar os horários de fornecimento do alimento ou até mesmo a retirada da ração, bem como a utilização de compostos bioativos estratégicos, capazes de atuar nas vias metabólicas em desequilíbrio, como mostram vários estudos a importância de plantas medicinais como aditivos naturais em dietas de aves para melhorar a quantidade e a qualidade de seus produtos (ABDELMONEIM et al., 2019, 2020).

Redução do incremento da dieta

Dietas com alto teor de proteína bruta podem favorecer o aumento da produção de calor inerentes ao processo de digestão, podendo assim elevar a carga térmica corporal (PESTA E SAMUEL, 2014). Suplementando a ração com aminoácidos sintéticos como a lisina e a metionina, permite que as aves tenham um balanço destes nutrientes que atendam essencialmente as suas exigências nutricionais (MATOS et al., 2011). Uma vez que os aminoácidos sintéticos possibilitam a formulação de rações destinada a atender as exigências específicas dos aminoácidos essenciais e, com isso, os níveis de proteína bruta das dietas reduzem significativamente.

Formulações nutricionais com um baixo teor de proteína podem ser consideradas como baixo incremento calórico, principalmente se forem enriquecidas com gordura (LE BELLEGO et al., 2002). A redução da proteína da dieta contribuiu de forma significativa para diminuir a produção total de calor, mais precisamente, de seu componente relacionado à eficiência de uso da ração pelo animal (NOBLET et al., 2001).

Portanto, a suplementação de aminoácidos essenciais em dietas composta por proteínas de baixa qualidade ou com imbalanço aminoacídico, melhora o desempenho dos animais em climas quentes por proporcionar menor incremento calórico, além de reduzir a excreção exagerada de nitrogênio no ambiente (DAGHIR & LEBANON, 2009; MILGEN & DOURMAD, 2015).

Aumento da densidade nutricional

Elevando o aporte energético das rações, no sentido de compensar a baixa ingestão de nutrientes decorrente da queda no consumo em climas quentes e melhorar a palatabilidade, assim os óleos e as gorduras surgiram como excelentes fontes de energia e ácidos graxos essenciais na alimentação das aves, além de, proporcionam menor incremento calórico e favorece a absorção de vitaminas lipossolúveis (NOBAKHT et al., 2011).

Ao selecionar a fonte de gordura a ser utilizada na dieta, cuidados devem ser tomados, pois alguns óleos são ricos em ácidos graxos poli-insaturados, logo, devem ser utilizados em quantidades mínimas, por terem baixos níveis de antioxidantes e serem especialmente susceptíveis a rancidez oxidativa e destruição de vitaminas A e E. Outro

fator relevante sobre as fontes lipídicas é a influência que exercem na taxa de passagem de alimento, diminuindo a velocidade da mesma, que favorece a digestibilidade dos demais nutrientes, uma vez que permanecem mais tempo no trato digestório (FURLAN & MACARI, 2008).

Estratégia de manejo alimentar

Uma distribuição da ração em períodos mais frescos do dia permite maximizar o consumo dos animais, associado a alteração do momento de fornecimento de ração, é adotada a utilização de um sistema de alimentação duplo, com fornecimento de uma dieta de alta PB e uma de alta energia nos períodos mais frescos e no mais quentes, respectivamente (RENAUDEAU et al., 2008).

O fornecimento de dietas que diferem em relação a sua composição nutricional, permite a utilização de uma estratégia nutricional envolvendo a técnica de alimentação sequencial, que é um programa de alimentação que consiste em fornecer dietas com diferentes composições nutricionais em um determinado período de tempo (BOUVAREL et al., 2008).

Vitaminas e minerais

Dentre os nutrientes exigidos pelas aves, as vitaminas e minerais, são elementos nutricionalmente necessários para a realização das funções fisiológicas, como desenvolvimento, crescimento e metabolismo das células (MORAVEJ et al., 2012).

Eventualmente os frangos passam por algum tipo de estresse, sendo fisiológico, nutricional ou ambiental que afetam negativamente o desempenho, a imunidade e outras características produtivas (HABIBIAN et al., 2014; FERREIRA, 2017). Com isso, as vitaminas e os minerais passaram a serem estudas como nutrientes funcionais, pois a presença nas dietas, podem melhorar o sistema imunológico, ao mesmo tempo reduzir os efeitos prejudiciais associados ao estresse, contribuindo para alcançar bons resultados no desempenho (SHOJADOOST et al., 2021).

A vitamina E é amplamente utilizado para melhorar o desempenho produtivo, o bem-estar, o estresse oxidativo e a função muscular. Neste aspecto, a vitamina E destaca-se pela sua importante função antioxidante, pois intervém na estabilização dos ácidos graxos poli-insaturados. Segundo estudos, a vitamina E, fortalece o estado nutricional das aves, principalmente, quando criadas em condições adversas (LOPES et al., 2019).

A vitamina C, participa de importantes reações metabólicas no organismo, ajuda a manter a integridade do epitélio da mucosa e da parede dos vasos, atua na formação dos glóbulos vermelhos do sangue e do controle dos níveis de corticosteróides circulantes. As aves naturalmente sintetizam vitamina C para o crescimento e metabolismo, a partir da glicose-1-fosfato, salvo em condições de estresse por calor (FURLAN & MACARI, 2008), pois essa capacidade não é suficiente nestas condições, devido à paralização dos processos enzimáticos envolvidos na sua síntese (BETERCHINI, 2006) havendo, portanto, a necessidade de suplementação.

O selênio exerce um papel relevante na manutenção da integridade das membranas celulares, ativando a enzima glutationa peroxidase, que age sobre os peróxidos já formados, destruindo-os (BETERCHINI, 2006). O zinco também deve ser considerado em animais desafiados pelo calor, pois durante a resposta imunológica, seu nível no sangue reduz, pois, esse mineral participa da síntese de metalotioneína no fígado (protege contra

danos oxidativos) e, por isso tem sua absorção elevada, provocando aumento na exigência deste mineral (RIBEIRO et al., 2008).

Suplementação de eletrólitos

O fornecimento de dietas com base no conceito de balanço eletrolítico e a suplementação de eletrólitos na água ou nas rações para frangos de corte vem sendo proposta para corrigir alterações no equilíbrio ácido-básico decorrentes do estresse por calor (VIEITES et al., 2011). A suplementação é feita com a adição de compostos alcalinos para elevar o balanço eletrolítico ou de compostos ácidos a fim de reduzi-lo, conforme a necessidade de cada caso. Dentre os compostos alcalinos, os mais utilizados na suplementação são: o bicarbonato de potássio (KHCO3), o bicarbonato de sódio (NaHCO3) e o carbonato de potássio (K2 CO3). Dentre os compostos ácidos destacam-se o cloreto de potássio (KCl), o cloreto de amônio (NH4 Cl) e o cloreto de cálcio (DALL'STELLA, 2008).

Em estudo realizado por Ahmad & Sarwar (2006), as aves estressadas pelo calor alimentadas com balanço eletrolítico de cerca de 250 mEq/kg apresentaram melhor desempenho, parâmetros sanguíneos e fisiológicos.

Aditivos a base de plantas

Existe um crescimento no interesse aos aditivos à base de plantas, de como podem ser usados para aliviar os efeitos adversos do estresse térmico, o que poderá ajudar a melhorar a produção e o desempenho das aves (LIU et al., 2011). Comparados com outros aditivos alternativos, como prebióticos e ácidos orgânicos, o uso dos aditivos fitogênicos é mais recente, e por consequência os exatos modos de ação ainda não são completamente esclarecidos (*CAO et al., 2010; GHEISAR & KIM, 2018*).

Os ácidos orgânicos, os óleos essenciais, entre outros, possuem características de atividade antimicrobiana, redução do pH do trato intestinal, são antifúngicos, estimulam a secreção enzimática, melhoram a digestão dos nutrientes, melhoram a resposta imune, entre tantos outros efeitos benéficos que contribuem de modo eficiente na redução dos efeitos do estresse (COSTA et al 2020).

As vantagens dos aditivos fitoterápicos incluem valores farmacológicos e nutricionais. Atualmente, muito tem se discutido acerca do potencial biológico dos compostos de plantas da família Zingiberaceae, de várias espécies, principalmente a Cúrcuma Longa Linn. Isto devido aos seus atributos antioxidantes, antiinflamatórios, antibacterianos, antiapoptose anticancerígenos e atividades conexas (HE et al., 2015). Entretanto, são poucos os aditivos fitogênicos utilizados visando o auxílio nos problemas relacionados ao estresse térmico, seja por calor ou frio.

Zmrhal et al. (2018) avaliando a inclusão de um aditivo fitogênico rico em flavonóides na dieta de frangos de corte, submetidos a aumento de temperatura e redução de umidade ambiental de 21°C e 66% aos 28 dias de idade, até 27°C e 44,5% aos 33 dias de idade, respectivamente, observaram redução de comportamentos relacionados ao estresse térmico, como bico e asas abertas, nas aves suplementadas com o aditivo fitogênico em comparação aos animais do grupo controle.

3. CONCLUSÃO

Portanto, adotar estratégias nutricionais e ambientais adequadas para aves em estresse térmico não só melhora sua produtividade como também promove seu bem-estar. A combinação de medidas preventivas, como ajustes na dieta e no ambiente, é essencial

para mitigar os efeitos negativos do estresse térmico e manter a saúde e o desempenho das aves em níveis ótimos.

REFERÊNCIAS

[1] ABDEL-MONEIM, A. E.; SABIC, E. M. Beneficial effect of feeding olive pulp and Aspergillus awamori on productive performance, egg quality, serum/yolk cholesterol and oxidative status in laying Japanese quails. **Journal of Animal Feed Sciences**, v.28, p.52–61, 2019.

[2] ABDEL-MONEIM, A. M. E.; SHEHATA, A. M.; ALZAHRANI, S. O.; SHAFI, M. E.; MESALAM, N. M.; TAHA, A. E.; SWELUM, A. A.; ARIF, M.; FAYYAZ, M.; ABD ELHACK, M. E. The role of polyphenols in poultry nutrition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.104, p.1851–1855, 2020.

[3] ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; JAENISCH, F. R. F.; PAIVA, D. P. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.59, n.4, p.1014 - 1020, 2007.

[4] ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G.; COLDEBELLA, A.; PAIVA, D. P.; JAENISCH, F. R. F.; SANTOS FILHO, J. I. Cortina amarela e azul, programas de luz quase contínuo e intermitente na produção de frangos de corte. Embrapa, n.53, p.1-24, 2008.

[5] ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1-14, 2011.

[6] ABREU, P. G. Recomendações técnicas ao avicultor para evitar o estresse calórico em frangos de corte. Instrução técnica para o avicultor. 2019.

[7] ANDREAZZI, M. A.; PINTO, J. S.; SANTOS, J. M. G.; CAVALIERI, F. L. B.; MATOS, N. C. S.; BARBIERI, I. O. Desempenho de frangos de corte criados em aviário convencional e dark-house. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.16, n.1, p.1-6, 2018.

[8] AHMAD, T.; SARWAR, M. Dietary electrolyte balance: implications in heat stressed broilers. **World's Poultry Science Journal**, v.62, n.4, p.638-653, 2006.

[9] BERTECHINI, A. G. Nutrição de monogástricos. Lavras: Ed. UFLA, p .301, 2006.

[10] BUENO, L.; ROSSI, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.497–504, 2006.

[11] BOUVAREL, I.; CHAGNEAU, A. M.; LESCOAT, P.; TESSERAUD, S.; LETERRIER, C. Forty-eighthour cycle sequential feeding with diets varying in protein and energy contents: adaptation in broilers at different ages. **Poultry Science**, v.87, n.1, p.196-203, 2008.

[12] CASTRO, A. C. Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) –Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

[13] CAO, P. H.; LI, F. D.; LI, Y. J.; RU, Y. J.; PÉRON, A.; SCHULZE, H.; BENTO, H. Effect of essential oils and feed enzymes on performance and nutrient utilization in broilers fed a corn/soy-based diet. **International Journal of Poultry Science**, n.9, p.749-755, 2010.

[14] CASSUCE, D. C.; Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil. 2011. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

[15] COELHO, D. J. R.; TINÔCO, I. F. F.; VIEIRA, M. F. A.; MENDES, M. A. S. A.; SOUSA, F. C.; FRANÇA, L. G. F. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.996–1004, 2015.

[16] COELHO, D. J. de R. et al. Thermal environment of masonry-walled poultry House in the initial life stage of broilers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 3, p. 203-208, 2019.

[17] COSTA, F. G. P.; LIMA, M. R. Nutrição e estresse térmico para frangos de corte. aviNews - online, 2020.

[18] CARDOSO, A. S.; BAETA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; CARDOSO, V. A. S. Coberturas com materiais alternativos. **Nutritime Revista Eletrônica**, on-line, Viçosa, v.12, n.6, p.4478-4487, 2015.

[19] CRAVO, J. C. M.; FIORELLI, J.; LAHR, F.A.R.; FONSECA, R.; CRUZ, V.C. Evaluation of recycled tiles and osb ceiling materials in closed broiler house prototypes**. Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 11, n. 4, p. 219 -224, 2009

[20] DALL'STELLA, R. Balanço eletrolítico e relações de aminoácidos sulfurados e lisina digestíveis para frangos de corte. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

[21] DAGHIR, N.J.; LEBANON, B. Nutritional Strategies to Reduce Heat Stress in Broilers and Broiler Breeders. **Lohmann Information**, v.44, n.1, p.7, 2009.

A. **FERRI, W.** ESTRATÉGIAS PARA MINIMIZAR O IMPACTO DO CALOR NA AVICULTURA, HTTPS://URBANACAIPIRA.COM.BR/ESTRATEGIAS-PARA-MINIMIZAR-O-IMPACTO-DO-CALOR-NA-AVICULTURA/, 2023.

[22] FERREIRA, J. D. M. Vitamina d3 em dietas para frangos de corte estressados por calor no período de 1 a 21 dias de idade. 2017.

[23] FURLAN, R.L.; MACARI, M. Termorregulação. In: Macari, M.; Furlan R.L.; Gonzales, E. Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte. 2ed. Jaboticabal: Funesp, p.209-230, 2008.

A. GHEISAR, M. M.; KIM, I. H. PHYTOBIOTICS IN POULTRY AND SWINE NUTRITION – A REVIEW. **ITALIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, N.17, P.92-99.

[24] HABIBIAN, M.; GHAZI, S.; MOEINI, M. M.; ABDOLMOHAMMADI, A. Effects of dietary selenium and vitamin E on immune response and biological blood parameters of broilers reared under thermoneutral or heat stress conditions. **International journal of biometeorology**, v.58, n.5, p.741-752, 2013.

[25] HE, Y.; YUE, Y.; ZHENG, X.; ZHANG, K.; CHEN, S.; DU, Z. Curcumin, inflammation, and chronic diseases: how are they linked? Molecules, v.20, n.5, p.9183- 213, 2015.

[26] KOH, K.; MACLEOD, M.G. Effects of ambient temperature on heat increment of feeding and energy retention in growing broilers maintained at different food intakes. **British Poultry Science**, Abingdon, v.40, p.511-516, 1999.

[27] LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **Journal of animal Science**, v.80, n.3, p.691- 701, 2002.

[28] LIU, P.; WANG, X.; HU, C.; HU, T. Inhibition of proliferation and induction of apoptosis by trimethoxyl stilbene (TMS) in a lung cancer cell line. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**, v.12, p.2263–2269, 2011.

[29] LOPES, J. C. O.; FERREIRA, J. D. M.; DE FIGUEIRÊDO, A. V.; LOPES, J. B.; MAIA, S. F.; RIBEIRO, M. N.; AGUIAR, V. D. S. L. Bioquímica sérica e carcaça de frangos de corte, em condições naturais de calor, suplementados com zinco orgânico e vitamina E. **Revista Agrária Acadêmica**. v.2, n.3, 2019.

[30] MATOS, M. B.; FERREIRA, R. A.; COUTO, H. P.; SAVARIS, V. D. L.; SOARES, R. T. R. N; OLIVEIRA, N. T. E. Balanço eletrolítico da dieta e desempenho de frangos em condições naturais de estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.6, p.1461-1469, 2011.

[31] MORAVEJ, H.; ALAHYARI, S. M.; SHIVAZAD, M. Effects of the reduction or withdrawal of the vitamin premix from the diet on chicken performance and meat quality. **Brazilian Journal of. Poultry Science**, v. 14, n. 4, p. 239-244, 2012.

[32] NASCIMENTO, G. R.; NÄÄS, I. A.; BARACHO, M. S.; PEREIRA, D. F.; NEVES, D. P. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n.18, p.658-663, 2014.

[33] NOBAKHT, A.; TABATBAEI, S.; KHODAEI, S. Effects of Different Sources and Levels of Vegetable Oils on Performance, Carcass Traits and Accumulation of Vitamin E in Breast Meat of Broilers. **Journal of Biological Sciences**, v.3, n.6, p.601-605, 2011.

[34] NOBLET, J.; LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; DUBOIS, S. Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and nitrogen and energy balance in growing pigs. **Animal Research**, v.50, n.3, p.227-238, 2001.

[35] OLIVEIRA, L. P.; GAI, V. F. Desempenho de frango de corte em aviários convencional e aviários dark house. **Revista cultivando o saber**, p.993-101, 2016.

[36] PESTA, D. H.; SAMUEL, V. T. A high-protein diet for reducing body fat: mechanisms and possible caveats. **Nutrition & metabolism**, v.11, n.1, p.1-8, 2014.

[37] RENAUDEAU, D.; GOURDINE, J. L.; SILVA, B. A. N.; NOBLET, J. Nutritional routes to attenuate heat stress in pigs. **Livestock and Global Climate Change**, p.134, 2008.

[38] RIBEIRO, A. M. L.; VOGT, L. K.; CANAL, C. W.; LAGANÁ, C.; STRECK, A. F. Suplementação de vitaminas e minerais orgânicos e sua ação sobre a imunocompetência de frangos de corte submetidos a estresse por calor. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.4, p.636-644, 2008.

[39] ROSA, C. O.; GARCIA, R. G.; COSTA, J. S.; NÄÄS, I. A.; LIMA, N. D. S. Análise econômica da implantação de um sistema de iluminação LED em aviário dark house: um estudo de caso", **Custos e agronegócio**, online, v.13, 2017.

[40] SANTOS, A. V. P. Estudo das propriedades térmicas de materiais de cobertura utilizados em construções rurais: uma revisão de literatura. Relatório de estágio supervisionado obrigatório (Graduação em engenharia agrícola e ambiental), Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, 2018.

[41] SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, p.230-236, 2011.

[42] SARMENTO, L. G. V.; DANTAS, R.T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, J. H. V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, v.26, n.2, p.117-122, 2005.

[43] SILVA, E. M. N. da.; SOUZA, B.B. de.; SILVA, G.A. **Estratégias para amenizar o efeito do estresse térmico em animais de produção.** Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/EstresseTermico/index.htm>. 2010.

[44] SHOJADOOST, B.; YITBAREK, A.; ALIZADEH, M.; KULKARNI, R. R.; ASTILL, J.; BOODHOO, N.; SHARIF, S. Centennial Review: Effects of vitamins A, D, E, and C on the chicken immune system. **Poultry Science**, v.100, n.4, 2021.

[45] TEYSSIER, J. R.; BRUGALETTA, G.; SIRRI, F.; DRIDI, S.; ROCHELL, S. J. A review of heat stress in chickens. Part II: Insights into protein and energy utilization and feeding. **Frontiers in Physiology**, v.13, 2022.

[46] VAN MILGEN, J.; DOURMAD, J. Y. Concept and application of ideal protein for pigs. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v.6, n.1, p.1-11 2015.

[47] VERCELLINO, R. A.; MOURA, D. J.; NAAS, I. A.; MAIA, A. P. A.; MEDEIROS, B. B. L.; SALGADO, D. D. A.; CARVALHO, T. R. M. The influence of side-curtain color on broiler chick behavior. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.15, n.3, p.169-286, 2013.

[48] VIEITES, F. M.; FRAGA, A. L.; SOUZA, C. S.; ARAÚJO, G. M.; VARGAS JÚNIOR, J. G.; NUNES, R. V.; CORRÊA, G. S. S. Desempenho de frangos de corte alimentados com altos valores de balanço eletrolítico em região de clima quente. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.2, p.441-447, 2011.

[49] YAHAV, S.; STRASCHNOW, A.; LUGER, D.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. **Poultry Science**, v. 83, p. 253–258, 2004.

[50] ZMRHAL, V.; LICHOVNPIKOVÁ, M.; HAMPEL, D. The effect of phytogenic additive on behavior during mild – moderate heat stress in broilers. **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, n.66, p.939-944, 2018.

Capítulo 8

Modificações fisiológicas e morfológicas sofridas pelos frangos de corte durante o ciclo de vida, associadas a susceptibilidade ao estresse térmico

Pedro Afonso de Souza Ezidio
Luany Emanuella Araujo Marciano
Leonardo Barriviera Furuya
Uilquer Silva dos Santos
Simara Marcia Marcato

Resumo: O capítulo discute a vulnerabilidade dos frangos de corte ao estresse térmico, enfatizando como fatores ambientais, como temperatura e umidade, impactam seu bem-estar e produtividade. Devido ao seu rápido crescimento, essas aves enfrentam limitações na dissipação de calor, o que pode resultar em menor desempenho, aumento da mortalidade e problemas de saúde. O estresse térmico é classificado em agudo, moderado e crônico, afetando negativamente a taxa de crescimento, a ingestão de alimentos e a integridade intestinal. Estudos mostram que temperaturas extremas causam alterações fisiológicas significativas, como respiração acelerada, desregulação do apetite e alterações na mucosa intestinal, que comprometem a absorção de nutrientes. Além disso, o estresse térmico pode prejudicar o sistema imunológico, aumentando a susceptibilidade a doenças. Problemas locomotores também são frequentes, especialmente em aves de crescimento rápido. E concluído que práticas de manejo adequadas são essenciais para minimizar o impacto do estresse térmico, garantindo o bem-estar e a eficiência produtiva das aves.

Palavras-chave: bem-estar; fatores ambientais; produtividade.

1. INTRODUÇÃO

Os frangos de corte são particularmente sensíveis e suscetíveis a fatores ambientais, como a intensidade de radiação solar, temperatura e umidade do ar elevadas, fatores estes os quais geram desconforto nas aves, uma vez que são animais que passam por várias modificações fisiológicas e morfológicas durante o ciclo de vida, principalmente pelo fato de possuírem um crescimento rápido resultante da seleção genética, com intuito de aumento da eficiência produtiva (NAWAB et al., 2018), com isso trazem consigo limitações na dissipação de calor causadas pelo empenamento, ausência de glândulas sudoríparas e densidades de criação relativamente altas em instalações comerciais (LARA; ROSTAGNO, 2013; EMAMI et al., 2020).

O desenvolvimento de frangos de corte ao longo da cadeia produtiva está ligado diretamente ao manejo, desde o nascimento até o alojamento nas granjas, bem como durante todo processo de criação até ao abate. No entanto, muitos pontos críticos relacionados ao conforto térmico e bem-estar animal são observados nessas etapas. Quando em situações de excesso de frio ou de calor as aves apresentam menor produtividade e performance geral, incluindo os principais indicadores avaliados em uma criação, podendo ocorrer situações extremas, como o acréscimo da mortalidade dos lotes (MANSILHA et al., 2019).

Essa revisão tem o objetivo de analisar as modificações fisiológicas e morfológicas sofridas pelos frangos de corte ao longo de seu ciclo de vida, destacando a relação entre essas alterações e a susceptibilidade ao estresse térmico, e discutir a importância de práticas de manejo adequadas para mitigar esses efeitos, promovendo o bem-estar e a eficiência produtiva das aves.

2. DESENVOLVIMENTO

Os estudos desenvolvidos atualmente sobre as consequências do estresse na produção animal têm aumentado consideravelmente por razões econômicas e de bem-estar animal (QUINTERO FILHO et al., 2010). O estresse térmico em aves é classificado como agudo (1 – 24 h); moderado (até 7 dias) e crônico ou grave (7 dias ou mais) (VLADIMIR et al., 2018). Sendo que o estresse agudo se refere a períodos curtos, sem previsão, podendo ser de altas ou baixas temperaturas, enquanto o crônico refere-se a períodos prolongados de temperaturas (GONZALEZ-ESQUERRA & LEESON, 2006). São amplamente observado que tanto o estresse agudo quanto o crônico podem influenciar negativamente a produção (SOHAIL et al., 2012).

De fato, temperaturas elevadas ou muito abaixo da recomendada para linhagem de criação desencadeiam alterações fisiológicas e metabólicas importantes, e a exposição ao estresse térmico resulta em um pior desempenho devido a diminuição na taxa de crescimento, má ingestão de alimentos, baixo peso corporal, piora na conversão alimentar, afeta negativamente o bem-estar, desafia a segurança alimentar, além de acarretar prejuízos ao crescimento ósseo e cartilaginoso, bem como a alteração no desenvolvimento intestinal, gerando a redução no peso do intestino delgado, no número de vilos e na proliferação dos enterócitos (UNI et al., 2001), afetando assim a capacidade da ave digerir e absorver os nutrientes necessários para a sua manutenção e produção, com isso, diminuindo a eficiência econômica geral da produção avícola (MACARI & FURLAN, 2001; LARA; ROSTAGNO, 2013; PAWAR et al., 2016).

Entre as diversas respostas fisiológicas desencadeadas pelo estresse térmico estão o aumento da frequência respiratória em ambientes com temperaturas elevadas (MARCHINI et al., 2007), o aumento da temperatura corporal ou diminuição da mesma (SILVA et al.,2003), a diminuição dos níveis séricos de T3, o aumento na degradação muscular, a piora no crescimento ósseo e da cartilagem, o aumento da refugagem (MACARI & FURLAN, 2001), a piora na uniformidade e o aumento no índice de mortalidade das aves, principalmente, quando os animais são alojados em baixas temperaturas ou a incidência de altas temperaturas do ambiente próximo a idade de abate (ARJONA et al., 1988), menor desenvolvimento de órgãos e maior susceptibilidade ao aparecimento de doenças metabólicas como a ascite. Patologia a qual leva ao acúmulo de líquido na cavidade abdominal, podendo culminar em hipertensão pulmonar, hipertensão vascular, aumento do fígado e falha cardíaca em frangos de corte (IPEK & SAHAN, 2006).

Correlato ao auto e rápido desenvolvimento do frango de corte concede o desenvolvimento desproporcional dos órgãos de sistema cardiovascular e respiratório (HAVENSTEIN et al., 2003), contribuindo para maiores dificuldades das aves em lidar com os desafios do estresse térmico, principalmente pelo calor (YAHAV et al., 2005), uma vez que, aves selecionadas para altas taxas de crescimento apresentam maiores taxas metabólicas e produzem mais calor endógeno (THIRUVENKADAN et al., 2011).

Outro fator e a baixa proporção de penas que os frangos de corte possuem devido ao ciclo de vida ser muito curto, sendo apenas 42 dias até o abate. As penas funcionam como isolantes, o que ajuda a explicar o motivo das aves terem a temperatura corporal mais alta entre todas as espécies de vertebrados. Esse mecanismo possibilita que elas alcancem a termoneutralidade em ambientes frios (GRAVELEY ET AL., 2020). A estrutura das penas de uma ave consiste em penas de contorno, compostas por uma parte proximal felpuda em aves adultas e uma parte distal ou penácea (IRVING, 1960). A seção penugenta que é a parte central da pena desempenha um papel fundamental no isolamento térmico (DOVE ET AL., 2007). Pintos são desprovidos de penas rígidas apresentando apenas plumagem felpuda, o que torna ainda mais difícil sua regulação da temperatura em ambientes frios.

Em situações de estresse por frio as aves buscam se manter amontoadas, o que reduz a frequência de idas ao bebedouro e comedouro afetando o desempenho produtivo e consequentemente a idade de abate (TEIXEIRA et al., 2009). O amontoamento também eleva o excesso de umidade na cama favorecendo o aumento da amônia produzida. A alta concentração de amônia e umidade na cama, aumentam a compactação e as aves sendo condicionadas a cama mais compactada podem desenvolver pododermatites, lesões na pele e no peito (ORO E GUIRRO, 2014).

As funções físicas das aves são afetadas pelas temperaturas em qualquer fase da vida. O estresse térmico geralmente é acompanhado por termorregulação desregulada e respostas fisiológicas, que incluem comportamentos modificados, além do aumento da frequência respiratória, aumento da taxa de sudorese e pulsação, aumento ou diminuição da temperatura cloacal (JOY et al., 2020). A temperatura cloacal é frequentemente usada como um índice fisiológico para avaliar o estresse térmico, pois seu aumento ou diminuição reflete diretamente o desequilíbrio entre os mecanismos de perda e ganho de calor (MARTELLO et al., 2010).

Durante o estresse por calor ocorre bloqueio no centro do apetite localizado no hipotálamo objetivada para reduzir o calor gerado pela digestão e metabolismo (SIMONS et al., 2003; VELDKAMP et 2005). Como consequência, há redução no consumo de ração pela ave (HAESE & BÜNZEN, 2005; AKSIT et al., 2006). Pois, não existe o interesse de se

alimentar durante um período em que a produção de calor não possa ser dissipada para que não ocorra assim sua mortalidade precoce (MACARI & FURLAN, 2001). Essa redução do consumo induzida pelo estresse térmico (ABU-DIEYEH, 2006), acaba gerando uma deficiência dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das aves.

Devemos contabilizar que níveis menos severos de estresse podem melhorar o estado imune das aves e os índices produtivos. Porém, níveis de estresse severo e duradouro levam a piora dos índices produtivos, do estado sanitário e do bem-estar das aves, além disso, pode causar hipóxia, isquemia e edema no epitélio intestinal, provocando a ruptura do epitélio e das membranas celulares, esse tipo de dano no epitélio facilita a translocação das bactérias (ZAREIE et al., 2006; QUINTERO FILHO et al., 2010).

A principal característica que torna o frango de corte produtivo é a integridade morfológica e funcional do sistema digestório, em especial do intestino delgado, bem como, a utilização dos alimentos (FURLAN et al., 2001). A maior parte dos processos digestivos, assim como a absorção dos nutrientes ocorre nos enterócitos, com isso a utilização dos alimentos está diretamente relacionada com a integridade do sistema digestório (SMITH et al, 1990). Devesse levar em consideração com isso que a manutenção da mucosa para o aumento do processo digestivo e absortivo da ave é imprescindível.

A diminuição no consumo das aves devido aos estresses ambientais e quase sempre observado, causando assim a diminuição da proliferação de enterócitos no intestino delgado (UNI et al., 2001), diminuição da altura do vilo e profundidade da cripta e o aumento na secreção de muco pelas células caliciformes (THOMPSON & APPLEGATE, 2006; Wu et al. 2018), além de menor peso do jejuno (MITCHELL & CARLISLE, 1992). Considera-se ainda que os fatores ambientais que induzam a alterações na dinâmica das mucinas têm potencial para afetar a viscosidade, a integridade da camada de muco e o transporte de nutrientes (HORN et al., 2009). Fazendo com que as aves acabem perdendo a capacidade de maior digestão e absorção dos nutrientes, tendo seu desempenho zootécnico comprometido (BOLELI et al., 2002).

A integridade intestinal é desafiada em condições de estresse térmico, e causa um grande problema associado à modulação na absorção de nutrientes e microflora (GALARZA-SEEBER et al., 2016; LIU et al., 2016). As alterações morfológicas do intestino são uma das principais consequências do estresse térmico dependendo essas da intensidade e duração (COSEN-BINKER et al., 2004). Porém, é importante ressaltar que ao passar por um tempo maior de estresse térmico ocorrem as adaptações fisiológicas, mas antes de qualquer adaptação primeiramente o estresse altera a função metabólica dos frangos, pois quando o animal encontra um estressor, o sistema neurogênico é ativado, aumentando os níveis de açúcar no sangue, a respiração, o tônus muscular e a sensibilidade nervosa para a manutenção da homeostase (NAWAB et al., 2018).

O estresse térmico afeta o eixo hipotálamo-hipófise-adrenal e resulta na liberação de corticotropinas do hipotálamo, que sinalizam a hipófise para liberar um hormônio adrenocorticotrófico (ACTH) (LOTVEDT et al., 2017). O ACTH é liberado pela hipófise; já o corticosteroide, pelo tecido adrenocortical. Segundo Binsiya et al. (2017), níveis elevados de corticosteroides na circulação são responsáveis por alterarem a síntese de glicose e o metabolismo mineral, bem como pelo desenvolvimento de hipercolesterolemia, doenças cardiovasculares, lesões gastrointestinais e variações nas funções imunológicas.

Nas aves, o sistema imunológico é composto pelo tecido linfoide associado ao intestino e por estruturas linfoides especializadas, como placas de Peyer, divertículo de Meckel, amígdalas cecais, baço e bursa de Fabricius. O sistema imune intestinal interage com o sistema nervoso central e o sistema endócrino por meio de vias bidirecionais (NOCHI et al., 2018) com isso, é comprovado que neurônios entéricos e as células imunes intestinais compartilham mecanismos regulatórios comuns e podem coordenar suas respostas a desafios (WANG et al., 2021). Sendo que o aumento da temperatura ambiente prejudica o estado imunológico das aves, aumentando a suscetibilidade a patógenos, influenciando a gravidade das infecções e patologias (CHROUSOS, 2009; SHINI et al., 2010), por meio da interação neuroendócrino-imune (KUENZEL; JURKEVICH, 2010).

O sistema imunológico afeta diretamente a obtenção de altos níveis zootécnicos, pois é responsável pelos mecanismos que visam proteger o organismo contra patógenos, aos quais os frangos estão dispostos nos locais de criação. Além disso, afeta todas as funções fisiológicas, que podem ser comprometidas em situação de baixa imunidade associadas à alta incidência de desafios (SANTIN et al., 2017).

Problemas locomotores também podem ser desencadeados em frangos dependendo das condições ambientais. Dentre as enfermidades mais frequentemente associadas a problemas de pernas está a discondroplasia tibial (EUROPEAN COMISSION, 2000) e em aves de crescimento rápido acaba sendo mais intensa nos machos devido ao maior peso adquirido (SORENSEN et al., 2000).

A discondroplasia é caracterizada pela formação de massa de cartilagem avascularizada, não calcificada na placa de crescimento epifisária de ossos longos, principalmente da tíbia (FARQUHARSON & JEFFERIES, 2000). As condições ambientais podem ocasionar esse problema pois, durante o estresse principalmente de calor, o balanço eletrolítico está comprometido e isto pode influenciar o desenvolvimento ósseo e contribuir para o aumento da incidência de problemas locomotores (PATIENCE, 1990).

As aves tendem a aumentam a frequência respiratória para diminuir a temperatura corporal (MARCHINI et al., 2007; OGUNTUNJI ALABI, 2010). Com isso, a ofegação resulta em alcalose respiratória pela eliminação acentuada de CO_2 e redução de pCO_2, (BORGES et al., 2004). É demonstrado que os níveis de cálcio no plasma, de pCO_2 sanguíneo e de HCO^-3 em frangos de corte diminuem durante a ofegação. Tendo que a diminuição da atividade da anidrase carbônica resulta na diminuição de bicarbonatos e carbonatos (BALNAVE et al., 1989) os quais são disponíveis para a deposição nos ossos (MAHMOUD et al., 1996). E para compensar este distúrbio, o organismo responde com a acidose metabólica (BORGES et al., 2004).

Gonzales & mendonça jr (2006) sugerem que, durante o estado de acidose metabólica há redução na conversão da vitamina D na sua forma biologicamente ativa, podendo ocorrer uma influência na mineralização dos ossos. E na alcalose respiratória há maior complexação do cálcio pelas proteínas do sangue, com consequente redução do cálcio livre ionizado, tornando-o insuficiente ou indisponível para deposição óssea (BUSHINSKY & SESSLER, 1992), ou seja, as aves em acidose metabólica ou alcalose apresentam maior incidência de problemas de pernas que as aves em equilíbrio metabólico.

Em relação aos trabalhos desenvolvidos, pode-se observar inúmeras modificações fisiológicas e morfológicas susceptíveis ao estresse térmico. Sendo que em vários estudos observaram um desempenho de crescimento prejudicado em frangos de corte submetidos à estresse térmico (NIU et al., 2009; ATTIA et al., 2011; GHAZI et al., 2012; IMIK et al., 2012), tendo uma redução no consumo de ração dos animais estressados em

comparação com aqueles em condições termoneutras (LIU et al., 2020). No entanto, a redução do consumo de ração depende de vários fatores, como: temperatura, duração e ciclicidade do período do estresse e idade das aves no início e no final do período do estresse térmico (TEYSSIER et al., 2022).

Em um estudo com frangos de corte submetidos à estresse térmico crônico, Sohail et al. (2012) observaram que houve redução significativa no consumo de ração, no peso corporal e um aumento na taxa de conversão alimentar aos 42 dias de idade. A razão pode estar relacionada à estimulação de hormônios relacionados ao apetite, como a colecistoquinina (CCK), resultando em anorexia (HE et al., 2018).

Os efeitos negativos da alta temperatura ambiente também foram relatados por Marchini et al. (2009), alta temperatura ambiente até a quarta semana de idade promoveu redução na secreção de enzimas digestivas e na altura das vilosidades de frangos de corte. De acordo com os dados apresentados, a digestibilidade dos alimentos e a integridade da mucosa intestinal estão relacionadas às variações da temperatura ambiente. Assim, a baixa quantidade de alimento presente no trato intestinal durante o estresse térmico prejudica o estímulo trófico da mucosa intestinal, além, de diminuir a secreção das enzimas digestivas.

Abo Ghanima et al. (2020) e Ibrahim et al. (2021), indicam que as espécies de aves modernas se tornaram muito sensíveis ao estresse térmico crônico, sendo que, quando as aves são expostas a um ambiente quente contínuo, são induzidas respostas comportamentais estressantes à perda de calor que excede a temperatura crítica, incluindo maior taxa respiratória, respiração ofegante, perda de apetite e metabolismo alterado, o que pode levar ao baixo desempenho e mortalidade.

De acordo com estudos de Lara e Rostagno (2013) e Alagawany et al. (2017), frangos de corte expostos ao estresse térmico tiveram uma diminuição da proporção de anticorpos circulantes, imunoglobulina G (IgG), imunoglobulina M (IgM), imunoglobulina A (IgA) e reduziram as respostas humorais sistêmicas. A ao longo do trato intestinal, resposta reduzida de anticorpos e redução da atividade fagocitária e de macrófagos (QUINTEIRO-FILHO et al., 2017). Consequentemente haverá menores pesos relativos de timo, bursa, baço e fígado nesses animais. O que já foi descrito tanto para frangos de corte quanto para poedeiras (CALEFI et al., 2014; HONDA et al., 2015; AGUANTA et al., 2018).

De acordo com Santos et al. (2015), Wu et al. (2018) e Liu et al. (2016) o estresse térmico por calor em aves é prejudicial para integridade da mucosa intestinal, onde provoca alterações nas vilosidades e nas criptas do duodeno e do jejuno, incluindo redução na altura dos vilos e na relação vilo/cripta, na área de absorção e aumento da profundidade da cripta. Segundo Liu et al. (2018) e Song et al. (2014) há uma modulação na morfologia intestinal em termos de aumento da profundidade da cripta (CP) e diminuição da altura das vilosidades (VL) e na relação CP para VL.

Estudos revelam que vários órgãos são suscetíveis a altas temperaturas corporais, o que os leva a uma falência induzida por uma combinação de citotoxicidade induzida pelo calor, coagulopatias e inflamação sistêmica. Geralmente são afetados o SNC (LITTMANN et al., 2016), os rins (FAN et al., 2015), o fígado (HENEGHAN et al., 2014) e o tecido muscular (WELC et al., 2013).

Ao submeter pintos de primeira semana à temperatura de 20ºC Furlan (2006), cita que os animais apresentaram menor consumo de ração, principalmente a partir do terceiro dia de vida, onde as reservas do saco vitelínico estão baixas. Porém de acordo com Zocche

et al. (2016), baixas temperaturas não interferem no ganho de peso final, porém aumenta o consumo de ração e conversão alimentar,

Moreira et al. (2023) em estudos com frangos de corte, concluiu que a exposição ao frio durante a primeira semana de vida compromete o desempenho, especialmente em aves de matrizes mais novas, resultando em aumento no consumo de ração, piora na conversão alimentar, menor viabilidade e índice de eficiência produtiva.

3.CONCLUSÃO

Portanto, o estresse térmico proporciona uma ação sobre as mudanças fisiológicas e morfológicas dos frangos de corte ao longo do ciclo de vida, especialmente em ambientes de produção intensiva. As principais mudanças destacadas aqui foram o crescimento rápido com um elevado metabolismo, apresentando assim dificuldade em dissipar o calor adicionado. Mudanças morfológicas como a o aumento de massa muscular. Ajustes comportamentais, regulação térmica limitada, impactos na saúde e desempenho como; distúrbios metabólicos, redução do consumo, aumento da mortalidade, problemas locomotores e imunológicos. Com isso, destaca-se a importância de práticas de manejo adequadas, para minimizar o impacto do estresse térmico e garantir o bem-estar e a produtividade das aves na produção avícola.

REFERÊNCIAS

[1] ABU-DIEYEH, Z. H. M. Effect of high temperature per se on growth performance of broilers. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v. 5, n. 1, p.19-21, 2006.

[2] ABO GHANIMA, M.M.; BIN-JUMAH, M.; ABDEL-MONEIM, A.-M.E.; KHAFAGA, A.F.; ABD EL- HACK, M.E.; ALLAM, A.A.; EL-KASRAWY, N.I. Impacts of strain variation on response to heat stress and boldo extract supplementation to broiler chickens. **Animals**, v.10, n.24, 2020

[3] AGUANTA, B. N.; FULLER, A. L.; MILFORT, M. C.; WILLIAMS, S. M.; REKAYA, R.; AGGREY, S. E. Histologic effects of concurrent heat stress and coccidial infection of the lymphoid tissues of broiler chickens. **Avian Diseases**, v.62, p.345–350, 2018.

[4] ALAGAWANY, M.; FARAG, M. R.; ABD EL-HACK, M. E.; PATRA, A. Heat Stress: Effects on Productive and Reproductive Performance of Quail. **World's Poultry Science Journal**, v.73, p.747–756, 2017.

[5] AKŞIT, M.; YALÇIN, S.; ÖZKAN, S.; METIN, K.; ÖZDEMIR, D. Effects of temperature during rearing and crating on stress parameters and meat quality of broilers. **Poultry Science, Champaign**, v. 85, n. 11, p. 1867–1874, 2006.

[6] ARJONA, A. A.; DENBOW, D. M.; WEAVER JR, W. D. Effect of heat stress early in life on mortality of broilers exposed to high environmental temperatures just prior to marketing**. Poultry Science**, Champaign, v. 67, n. 2, p. 226-231, 1988.

[7] ATTIA, Y.A.; HASSAN, R.A.; TAG EL-DIN, A.E.; ABOU-SHEHEMA, B.M. Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v.95, p.744–755, 2011.

[8] BALNAVE, D.; YOSELLEWIZ, I.; DIXON, R. Physiological changes associated with the production of defective egg-shells by hens receiving sodium chloride in the drinking water. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 61, n. 1, p. 35-53, 1989.

[9] BINSIYA, T.K.; VEERASAMY, S.; BAGATH, M.; KRISHNAN, G.; IQBAL, H.; MANIMARAN, A.; ANGELA, L.; GAUGHAN, J.; BHATTA, R. Significance of Hypothalamic-Pituitary-Adrenal Axis to Adapt to Climate Change in Livestock. **International Journal For Research In Agricultural And Food Science**, v.2, p.1-20, 2017.

[10] BORGES, S. A.; FISCHER DA SILVA, A. V.; MAJORKA, A.; HOOGE, D. M.; CUMMINGS, K. R. Physiological responses of broiler chicken to heat stress and electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalent per kilogram). **Poultry Science**, v. 83, n. 9, p. 1551-1558, 2004.

[11] BOLELI, I. C.; MACARI, M. Desenvolvimento e reparo da mucosa intestinal. In: MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. (Ed.). **Fisiologia Aviária aplicada a frangos de corte**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 113-123, 2002.

[12] BUSHINSKY, D. A.; SESSLER, N. E. Critical role of bicarbonate in calcium release from bone. **American Journal of Physiology**, Baltimore, v. 263, n. 3, p. 510-515, 1992.

[13] CALEFI, A. S.; HONDA, B.T.; COSTOLA-DE-SOUZA, C.; DE SIQUEIRA, A.; NAMAZU, L.B.; QUINTEIRO-FILHO, W.M.; FONSECA, J.G.; ALOIA, T.P.; PIANTINO-FERREIRA, A. J.; PALERMO-NETO, J. Effects of long-term heat stress in an experimental model of avian necrotic enteritis. **Poultry Science**, v.93, p.1344–1353, 2014.

[14] CHROUSOS, G. P. Stress and disorders of the stress system. Nature Reviews Endocrinology, v.5, p.374–381, 2009.

[15] DOVE, C. J.; RIJKE, A. M.; WANG, X.; ANDREWS, L. S. Infrared analysis of contour feathers. **J. Therm. Biol,** n. 32, p. 42–46, 2007.

[16] EMAMI, N. K.; JUNG, U.; VOY, B.; DRIDI, S. Radical Response: Effects of Heat Stress-Induced Oxidative Stress on Lipid Metabolism in the Avian Liver. Antioxidants (Basel). 2020:10:35.

[17] EIXEIRA, E. N. M.; SILVA, J. H. V. DA; COSTA, F. G. P.; et al. Efeito do tempo de jejum póseclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 314–322, 2009.

[18] EUROPEAN COMMISSION. The welfare of chickens kept for meat production. Report of the Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare. European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General (adopted 21 March 2000), 2000. Disponível em:http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scah/out39_en.pdf.

[19] FAN, L.; XU, Y.M.; QIN, Y.Q.; YUAN, T.L.; HENG S.; JING F. PHD3 Stabilizes the Tight Junction Protein Occludin and Protects Intestinal Epithelial Barrier Function. **Journal of Biological Chemistry**, v.290, p.2058–2089, 2015.

[20] FARQUHARSON, C.; JEFFERIES, D. Chondrocytes and longitudinal bone growth: the development of tibial dyschondroplasia. Poultry Science, Champaign, v. 79, n. 7, p. 994–1004, 2000

[21] FURLAN, R. L. Influência da temperatura na produção de frangos de corte. In: Simpósio Brasil sul de avicultura 7, Chapecó. Anais. Chapecó: SBA, p. 104- 135, 2006.

[22] FURLAN, R. L.; CARVALHO, N. C.; MALHEIROS, E. B.; MACARI, M. Efeito da restrição alimentar inicial e da temperatura ambiente sobre o desenvolvimento de vísceras e ganho compensatório em frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 53, n. 4, p. 1-7, 2001.

[23] GALARZA-SEEBER, R.; LATORRE, J. D.; BIELKE, L. R.; KUTTAPPAN, V. A.; WOLFENDEN, A. D.; HERNANDEZ-VELASCO, X.; TELLEZ, G. Leaky gut and mycotoxins: Aflatoxin B1 does not increase gut permeability in broiler chickens. **Frontiers in Veterinary Science**, v.3, n.10, 2016.

[24] GONZALES, E.; MENDOÇA J. R. Problemas locomotores em frangos de corte. VII Simpósio Brasil Sul de Avicultura. Chapecó, SC – Brasil. Anais. 79-94, 2006. Disponível em:http://books.google.com.br/books/about/Anais.html?id=EIiaMAEACAAJ&red ir_esc=y.

[25] GONZALEZ-ESQUERRA, R.; LEESON, S. Physiological and metabolic responses of broilers to heat stress - implications for protein and amino acid nutrition. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 62, n. 2, p. 282-295, 2006.

[26] GHAZI, S. H.; HABIBIAN, M.; MOEINI, M. M.; ABDOLMOHAMMADI, A. R. Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. **Biological Trace Element Research**, v.146, p.309–317, 2012.

[27] GRAVELEY, J. M. F.; BURGIO, K. R.; RUBEGA, M. Using a Thermal Camera to Measure Heat Loss Through Bird Feather Coats. **Journal of Visualized Experiments**, n. 160, p. e60981, 2020.

[28] HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QURESHI, M. A. Carcass composition and yield of 1957 versus

2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. **Poultry Science, Champaign,** v. 82, n. 10, p. 1509-1518, 2003.

[29] HAESE, D.; BÜNZEN, S. Temperatura ambiental efetiva e consumo voluntário. **Revista Eletrônica Nutritime,** v. 2, n. 1, p.172- 175, 2005.

[30] HE, X.; LU, Z.; M. A, B.; ZHANG, L.; L. I, J.; JIANG, Y.; GAO, F. Effects of chronic heat exposure on growth performance, intestinal epithelial histology, appetite-related hormones and genes expression in broilers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.98, n.12, p.4471–4478, 2018.

[31] HENEGHAN, H. M.; NAZIRAWAN, F.; DORCARATTO, D.; FIORE, B.; BOYLAN, J. F.; MAGUIRE, D.; HOTI, E. Extreme heat stroke causing fulminant hepatic failure requiring liver transplantation: A case report. **Transplantation Proceedings**, v.46, p.2430–2432, 2014.

[32] HONDA, B.T.; CALEFI, A.S.; COSTOLA-DE-SOUZA, C.; QUINTEIRO-FILHO, W.M.; DA SILVA FONSECA, J. G.; DE PAULA, V.F.; PALERMO-NETO, J. Effects of heat stress on peripheral T and B lymphocyte profiles and IgG and IgM serum levels in broiler chickens vaccinated for Newcastle disease virus. **Poultry Science**, v.94, p.2375–2381, 2015.

[33] HORN, N. L.; DONKIN, S. S.; APPLEGATE, T. J.; ADEOLA, O. Intestinal mucin dynamics: response of broiler chicks and White Pekin ducklings to dietary threonine. **Poultry Science, Champaign**, v. 88, n. 9, p. 1906–1914, 2009.

[34] IBRAHIM, N.; EL-SAYED, M.; ASSI, H.; ENAB, A.; ABDEL-MONEIM, A.-M.E. Genetic and physiological variation in two strains of Japanese quail. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v.19, p.15–26, 2021.

[35] IMIK, H.; OZLU, H.; GUMUS, R.; ATASEVER, M.A.; URGAR, S.; ATASEVER, M. Effects of ascorbic acid and alpha-lipoic acid on performance and meat quality of broilers subjected to heat stress. **British Poultry Science**, v.53, p.800–808, 2012.

[36] IRVING, L. Birds of Anaktuvuk ass, Kubuk, and old crow. United States National Museum: Washington, DC, USA, p. 1 – 409. 1960.

[37] JOY, A.; DUNSHEA, F. R.; LEURY, B.J.; CLARKE, I. J.; DIGIACOMO, K.; CHAUHAN, S. S. Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: a Review. **Animals (Basel)**, v.10, p.867, 2020.

[38] KUENZEL, W. J.; JURKEVICH, A. Molecular neuroendocrine events during stress in poultry. **Poultry Science**, v.89, p.832–840, 2010.

[39] LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impact of heat stress on poultry production. **Animals**, v.3, p.356–369, 2013.

[40] LIU, L.; FU, C.; YAN, M.; XIE, H.; LI, S.; YU, Q.; HE, J. Resveratrol modulates intestinal morphology and HSP70/90, NF-κB and EGF expression in the jejunal mucosa of black-boned chickens on exposure to circular heat stress. **Food & Function**, v.7, n.3, p.1329–1338, 2016.

[41] LIU, L.; ZHU, G. Gut-brain axis and mood disorder. **Frontiers in Psychiatry**, v.9, n.223, 2018.

[42] LITTMANN, A.E.; SHIELDS, R.K. Whole body heat stress increases motor cortical excitability and skill acquisition in humans. **Clinical Neurophysiology**, v.127, p.1521–1529, 2016.

[43] LIU, L.; REN, M.; REN, K.; JIN, Y.; YAN, M. Heat stress impacts on broiler performance: A systematic review and meta-analysis. **Poultry Science**, v.99, p.6205–6211, 2020

[44] LIU, L.; FU, C.; YAN, M.; XIE, H.; LI, S.; YU, Q.; HE, J. Resveratrol modulates intestinal morphology and HSP70/90, NF-κB and EGF expression in the jejunal mucosa of black-boned chickens on exposure to circular heat stress. **Food & Function**, v.7, n.3, p.1329–1338, 2016.

[45] LOTVEDT, P.; FALLAHSHAHROUDI, A.; BEKTIC, L.; ALTIMIRAS, J.; JENSEN, P. Chicken Domestication Changes Expression of Stress-Related Genes in Brain, Pituitary and Adrenals. **Neurobiology of Stress**, v.7, p.113–121, 2017.

[46] MARCHINI, C. F. P.; SILVA, M. R. B. M.; NASCIMENTO, M. E; BELETTI, M. E; GUMARÃES, E. C; SOARES, H. L. Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Arquivo Brasileiro Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.61, n.2, p.491-497, 2009.

[47] MARCHINI, C. F. P.; SILVA, P. L.; NASCIMENTO, M. R. B. M; TAVARES, M. Frequência respiratória e

temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.12, n. 1, p. 41-46, 2007.

[48] MAHMOUD, K. P.; BECK, M. M.; SCHEIDELER, S. E.; FORMAN, M. F.; ANDERSON, K. P., KACHMAN, S. D. Acute high environmental temperature and calcium-oestrogen relationship in the hen. **Poultry Science**, Champaign, v. 75, n. 12, p. 1555-1562, 1996.

[49] MANSILHA, Ricardo Brandão et al. Environmental externalities in broiler production: an analysis based on system dynamics. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 190-199, 2019.

[50] MACARI, M.; FURLAN, R. L. Ambiência na produção de aves em clima tropical. In: SILVA, I. J. O. (Ed.) **Ambiência na produção de aves em clima tropical**. Piracicaba: FUNEP, v. 1, p. 31-37, 2001.

[51] MARCHINI, C. F. P.; SILVA, P. L.; NASCIMENTO, M. R. B. M; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.12, n. 1, p. 41-46, 2007.

[52] MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JUNIOR, H.; SILVA, S. L.; BALIEIRO, J. C. C. Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. **International Journal of Biometeorology**, v.54, p.647–652, 2010.

[53] MITCHELL M. A.; CARLISLE A. J. The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (Gallus domesticus). **Comparative Biochemistry and Physiology**, New York, v. 101, n. 1, p. 137–142, 1992.

[54] MOREIRA, L. M. Influência da idade da matriz e do estresse térmico por sobre o metabolismo e desempenho de frangos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais. 2023.

[55] NAWAB, A.; IBTISHAM, F.; L. I, G.; KIESER, B.; WU, J.; LIU, W.; ZHAO, Y.; NAWAB, Y.; LI, K.; XIAO, M.; LILONG A. N. Heat stress in poultry production; Mitigation strategies to over come the future challenges facing the global poultry industry. **Journal of Thermal Biology**, v.78, p.131-139, 2018.

[56] NIU, Z. Y.; LIU, F. Z.; YAN, Q. L.; LI, W. C. Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress. **Poultry Science**, v.88, p.2101–2107, 2009.

[57] NOCHI, T.; JANSEN, C. A.; TOYOMIZU, M.; VAN EDEN, W. The well-developed mucosal immune systems of birds and mammals allow for similar approaches of mucosal vaccination in both types of animals. **Frontiers in Nutrition**, v.5, n.60, 2018.

[58] OGUNTUNJI, A. O.; ALABI O. M. Influence of high environmental temperature on egg production and shell quality: a review. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 66, n. 6, p. 739-749, 2010.

[59] PATIENCE J. F. A review of the role of acid base balance in amino acid nutrition. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 68, n. 2, p. 398-408, 1990.

[60] PAWAR, S. S., BASAVARAJ, S., DHANSING, L. V., NITIN, K. P., SAHEBRAO, K. A., VITTHAL, N. A., MANOJ, B. P., KUMAR, B. S. Assessing and Mitigating the Impact of Heat Stress in Poultry. **Advan. Anim. Vet. Sci**, 4, 332–341, 2016.

[61] QUINTEIRO-FILHO, W. M.; CALEFI, A. S.; CRUZ, D. S. G.; ALOIA, T. P. A.; ZAGER, A.; ASTOLFI-FERREIRA, C. S.; PIANTINO FERREIRA, J. A.; SHARIF, S.; PALERMONETO, J. Heat stress decreases expression of the cytokines, avian β-defensins 4 and 6 and Toll-like receptor 2 in broiler chickens infected with Salmonella Enteritidis. **Veterinary Immunology and Immunopathology**, v.186, p.19–28, 2017

[62] QUINTEIRO-FILHO W. M.; A. RIBEIRO, V. FERRAZ-DE-PAULA, M. L. PINHEIRO, M. SAKAI, L. R. M. SÁ, A. J. P. FERREIRA; J. PALERMO-NETO. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 89, n. 9, p. 1905–1914, 2010.

[63] SANTOS, R. R.; AWATI, A.; ROUBOS-VAN DEN HIL, P. J.; TERSTEEGZIJDERVELD, M. H.; KOOLMEES, P. A.; FINK-GREMMELS, J. Quantitative histomorphometric analysis of heat-stress-related damage in the small intestines of broiler chickens. **Avian Pathology**, v.44, n.1, p.19-22, 2015.

[64] SANTIN, E.; MORAES, M. L.; SANCHES, A. W. D. Imunologia aplicada. In: MACARI, M.; MAIORKA, A. Fisiologia das aves comerciais. Jaboticabal: FUNEP/ UNESP, p.466- 491, 2017.

[65] SILVA, M. A. N.; HELLMEISTER FILHO, P.; ROSÁRIO, M. F.; COELHO, A. A. D.; SAVINO, V. J. M.; GARCIA, A. A. F.; SILVA, I. J. O.; MENTEN, J. F. M. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 208-213, 2003.

[66] SIMMONS, J. D.; LOTT, B. D.; MILES, D. M. The effects of high air velocity on broiler performance. **Poultry Science**, Champaign, v. 82, n. 2, p. 232-234, 2003.

[67] SONG, J.; XIAO, K.; KE, Y. L.; JIAO, L. F.; HU, C. H.; DIAO, Q. Y.; SHI, B.; ZOU, X. T. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. **Poultry Science**, v.93, p.581–588, 2014.

[68] SOHAIL, M. U.; HUME, M. E.; BYRD, J. A.; NISBET, D. J.; IJAZ, A.; SOHAIL, A.; SHABBIR, M. Z.; REHMAN, H. Effect of supplementation of prebiotic mannanoligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. **Poultry Science**, v.91, n.9, p.2235–2240, 2012.

[69] SORENSEN, P.; SU, G.; KESTIN, S. C. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. **Poultry Science**, Champaign, v. 79, n. 6, p. 864–870, 2000.

[70] SOHAIL, M. U.; HUME, M. E.; BYRD, J. A.; NISBET, D. J.; IJAZ, A.; SOHAIL, A.; SHABBIR, M. Z.; REHMAN, H. Effect of supplementation of prebiotic mannanoligosaccharides and probiotic mixture on growth performance of broilers subjected to chronic heat stress. **Poultry Science**, v.91, n.9, p.2235–2240, 2012.

[71] SHINI, S.; HUFF, G. R.; SHINI, A.; KAISER, P. Understanding stress-induced immunosuppression: exploration of cytokine and chemokine gene profiles in chicken peripheral leukocytes. **Poultry Science**, v.89, p.841–851, 2010.

[72] SMITH, M. W.; MITCHELL, M. A.; PEACOCK, M. A. Effects of genetic selection on growth rate and intestinal structure in the domestic fowl (Gallus domesticus). **Comparative Biochemistry Physiology**, New York, v. 97A, n. 1, p. 57-63, 1990.

[73] TEYSSIER, J. R.; BRUGALETTA, G.; SIRRI, F.; DRIDI, S.; ROCHELL, S. J. A review of heat stress in chickens. Part II: Insights into protein and energy utilization and feeding. **Frontiers in Physiology**, v.13, e.943612, 2022.

[74] THIRUVENKADAN, A. K., PRABAKARAN, R., PANNEERSELVAM, S. Broiler breeding strategies over the decades; an overview. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 67, n. 2, p. 309-336, 2011.

[75] THOMPSON, K. L.; APPLEGATE, T. J. Feed withdrawal alters smallintestinal morphology and mucus of broilers. **Poultry Science**, Champaign v. 85, n. 9, p. 1535–1540, 2006.

[76] UNI, Z.; GAL-GARBER, O.; GEYRA, A.; SKLAN, D.; YAHAV, S. Changes in growth and function of chick small intestine epithelium due to early thermal conditioning**. Poultry Science**, Champaign, v. 80, n. 4, p. 438-445, 2001.

[77] VELDKAMP, T.; KWAKKEL, R. P.; FERKET, P. R.; VERSTEGENT, M. W. Growth responses to dietary energy and lysine at high and low ambient temperature in male turkeys. **Poultry Science**; Champaign, v. 84, n. 2, p. 273- 282, 2005.

[78] VLADIMIR, Z.; MARTINA, L.; DAVID, H. The effect of phytogenic additive on behavior during mild–moderate heat stress in broilers. **Acta Univ Agricultura Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v.66, n.4, p.939–944, 2018.

[79] WANG, H.; FOONG, J.P.P.; HARRIS, N.L.; BORNSTEIN, J.C. Enteric neuroimmune interactions coordinate intestinal responses in health and disease. **Mucosal Immunology**, v. 15, n. 1, p.27-39, 2021.

[80] WU, Q.J.; LIU, N.; WU, X.H.; WANG, G.Y.; LIN, L. Glutamine alleviates heat stressinduced impairment of intestinal morphology, intestinal inflammatory response, and barrier integrity in broilers. **Poultry Science**, v.97, n.8, p.2675-2683, 2018.

[81] WELC, S.S.; CLANTON, T.L.; DINEEN, S.M.; LEON, L.R. Heat stroke activates a stressinduced cytokine response in skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v.115, p.1126–1137, 2013.

[82] YAHAV, S.; SHINDER, D.; TANNY, J.; COHEN, S. Sensible heat loss: the broiler's paradox. **World's Poultry Science Journal, Champaign**, v. 61, n. 3, p. 419-434, 2005.

[83] ZAREIE, M.; JOHNSON-HENRY, K.; JURY, J.; YANG, P.C.; NGAN, B.Y.; MCKAY, D.M.; SHERMAN, P.M. Probiotics prevent bacterial translocation and improve intestinal barrier function in rats following chronic psychological stress. Gut, v.55, n.11, p.1553-1560, 2006.

[84] ZOCCHE, A. T.; Souza, C.; Geweh, C. E. Efeito da idade da matriz e da temperatura de alojamento sobre a absorção do saco vitelino e desempenho zootécnico de frangos de corte. **Archives of Vet. Sci**. v.21, n.2, p.52-63, 2016.

Capítulo 9

Uso de revisões sistemáticas e meta-análises aplicados em estudos com Apis mellifera

Leandro Alves da Silva
Tasyely Daylhany Freire de Lima
Hérica Girlane Tertulino Domingos
Luciana Veras de Aquino Figueirôa
Francisco de Assis Junior
Lucas da Silva Morais
Edgar Rodrigues de Araujo Neto
Kátia Peres Gramacho

Resumo: As abelhas apresentam diversas funções na natureza como a polinização e a promoção da diversidade, e algumas áreas de pesquisa já foram bastante estudadas, assim como novas pesquisas surgem diariamente no mundo. A partir disso, surge a necessidade de um levantamento bibliográfico baseado na seguinte problemática: como está o uso das ferramentas de revisão sistemática e meta-análise na difusão do conhecimento científico com abelhas *Apis mellifera* no mundo?. Foi realizado um estudo da arte utilizando as bases de dados das plataformas Web of Science, Scopus e Science Direct com os descritores "*Apis mellifera*", "systematic review" e "meta-analysis" combinados, selecionando artigos sem restrição de período de publicação ou idioma, para triagem. Foram encontrados 948 artigos e, após triagem, foram selecionados 78 artigos elegíveis para este estudo, entre revisões sistemáticas, meta-análises e ambos as metodologias unidas, publicados em 51 periódicos, entre 2008 e 2024, principalmente nos EUA e Brasil, e artigos com até 1243 citações. As abelhas têm sido bastante pesquisadas com metodologias de revisão sistemática e meta-análise, principalmente a partir do ano de 2017 e seu volume máximo de publicações entre 2020 e 2023. A publicação dos artigos com essas metodologias foi feita em sua maioria em periódicos de alto fator de impacto e estratificados em qualis A1 ou A2 e todos os artigos elegíveis foram publicados no idioma inglês. Na linha de pesquisa sanidade, as revisões sistemáticas e/ou meta-análises não apresentaram pesquisas com comportamento higiênico, varroatose ou nosemose. Outra demanda ainda não explorada por essas ferramentas é a relação entre hibridização e seus efeitos no comportamento enxameatório, reprodutivo, termorregulatório e produtivo das abelhas *Apis mellifera*.

Palavras-chave: Abelhas. Hibridização. Polinização Sanidade apícola

1. INTRODUÇÃO

A apicultura é desenvolvida pela criação racional das abelhas melíferas, amplamente conhecida pelos seus produtos apícolas como mel, pólen, geleia real, própolis e cera. Além da contribuição direta na produção de alimentos para a humanidade, as abelhas também são responsáveis, juntamente com outros animais, pela polinização de diversas culturas cultivadas e silvestre, e esse serviço de polinização tem garantido a perpetuação de muitas espécies vegetais e animais, incluindo os humanos (Freitas; Nunes-Silva, 2012).

Diante da importância desses insetos para o planeta, pesquisas foram e a cada dia continuam sendo desenvolvidas para a melhor compreensão do comportamento social, da biologia, de formas de manejo racional, para potencializar ainda mais os benefícios destes polinizadores para a agricultura e o para equilíbrio dos ecossistemas. Pesquisas a nível de manejo produtivo, sanitário, reprodutivo ou termorregulatório, por exemplo, tem sido publicada nas bases cientificas e na sua maioria com livre acesso à comunidade cientifica.

Algumas áreas de pesquisa com abelhas já foram bastante estudadas. A exemplo disso temos a biologia e o comportamento social destes indivíduos. Outras áreas ainda estão em ascensão como é o caso das interações genéticas entre subespécies e as ferramentas ômicas e o efeito do aquecimento global no desenvolvimento dos animais polinizadores. Pesquisas que avaliaram a interação parasito-hospedeiro (*Varroa destructor-Apis mellifera*) também já foi amplamente estudada em abelhas europeias, entretanto, ainda falta melhor compreensão dessa relação com variáveis climáticas em regiões semiáridas, a exemplo do Brasil e parte do México.

Em síntese, um levantamento bibliográfico precisa ser feito pelos pesquisadores antes do início de uma nova pesquisa para entender o nível de desenvolvimento cientifico de sua área ou linha de pesquisa especifica. Para isso, ferramentas tem sido atualmente empregadas que possibilitam a sistematização na compilação e analise de artigos já publicados.

A exemplo disso tem-se o uso de revisões de literatura ou de revisões sistemáticas com ou sem meta-análise. A partir desse entendimento surgiu a necessidade de compreender o uso de revisões sistemáticas e/ou meta-análises nos estudos com abelhas *Apis mellifera* a nível mundial. Nesse momento, esse estudo da arte não foi limitado a uma linha de pesquisa específica pois, ainda não existem trabalhos publicados que mostrem esse tipo de informação na literatura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. PROBLEMÁTICA

Como está o uso das ferramentas de revisão sistemática e meta-análise na difusão do conhecimento científico com abelhas *Apis mellifera* no mundo?

2.2. QUESTÃO DA PESQUISA - PO

- População - Abelhas *Apis mellifera;*
- Resultados - Quantificação das revisões sistemáticas e meta-análises publicadas

2.3. ESTRATÉGIA DE BUSCA E SELEÇÃO DOS ARTIGOS

A pesquisa foi realizada entre os dias 08 e 13 de abril de 2024, analisando os bancos de dados das plataformas Web of Science, Scopus e Science Direct. Os arquivos encontrados na estratégia de busca foram submetidos à triagem, considerando o título e o resumo. Essa triagem foi feita por dois revisores independentes, levando-se em consideração os critérios de inclusão e/ou exclusão.

Critérios de inclusão:

Como critérios para a pré-seleção, foi considerado que deveria constar, no título e/ou resumo, os termos: "*Apis mellifera*" e "revisão sistemática" e/ou "meta-análise". Nas bases de dados selecionadas foram utilizados os seguintes descritores:

1. ("*Apis mellifera*") AND ("systematic review" OR "meta-analysis");
2. ("*Apis mellifera*") AND ("systematic review");
3. ("*Apis mellifera*") AND ("meta-analysis").

A seleção dos artigos para compor o banco de dados não foi limitada pelo idioma, país ou ano de publicação.

Critérios de exclusão:

a) Literatura cinzenta: capítulos de livros, anais de congressos, livros, sites etc.

b) Artigos de revisões sistemáticas e/ou meta-análises com outras espécies animais.

c) Artigos de pesquisa e outros tipos de revisões.

Os artigos pré-selecionados na busca foram exportados para o software Mendeley, utilizado como gestor bibliográfico, para formação do banco de dados e exclusão de arquivos duplicados.

2.4. EXTRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Após passar pelos critérios de elegibilidade, nos artigos selecionados foram coletados os seguintes dados: autores, título, país, periódico, qualis, fator de impacto, tipo de estudo (Revisão sistemática, meta-análise ou ambos), ano de publicação, área de estudo, número de bases usadas no estudo, nome da base, número de revisores, recomendação Prisma, questão da pesquisa, restrição de idioma, número de citações, referências. As informações coletadas foram armazenadas em planilha de Excel para posterior análise dos resultados.

3. RESULTADOS

Foram encontrados 948 artigos que continham, em seu título e/ou resumo, palavras-chave usadas nos descritores supracitados. Desse total, 146 artigos foram encontrados na Web of Science, 168 na Scopus e 634 na Science Direct.

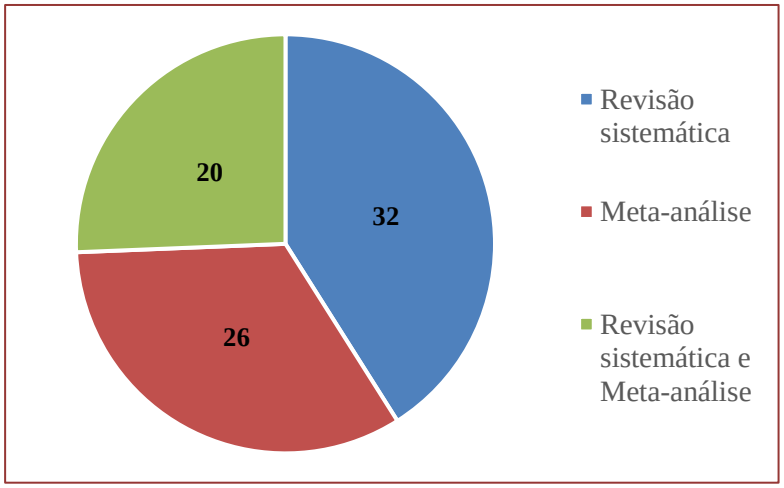
Quatrocentos artigos foram identificados como duplicados (42,1 %) e 470 (49,7%) não atenderam aos critérios de elegibilidade (Tabela 1). Em resumo, 91,8 % dos artigos não seguiram para a etapa de extração das informações descritas na seção 2.5.

Tabela 11. Primeira triagem dos artigos para formação do banco de dados.

Pesquisas em bancos de dados	Artigos (N)	Artigos (%)
Web of Science	146	15,5
Scopus	168	17,7
Science direct	634	66,8
Total de artigos pré-selecionados por título e/ou resumo	948	100
Artigos excluídos	**Artigos (N)**	**Artigos (%)**
Duplicados	400	42,1
Não atenderam aos critérios de inclusão	470	49,7
Total de artigos excluídos	870	91,8
Artigos selecionados	**Artigos (N)**	**Artigos (%)**
	78	**8,2**

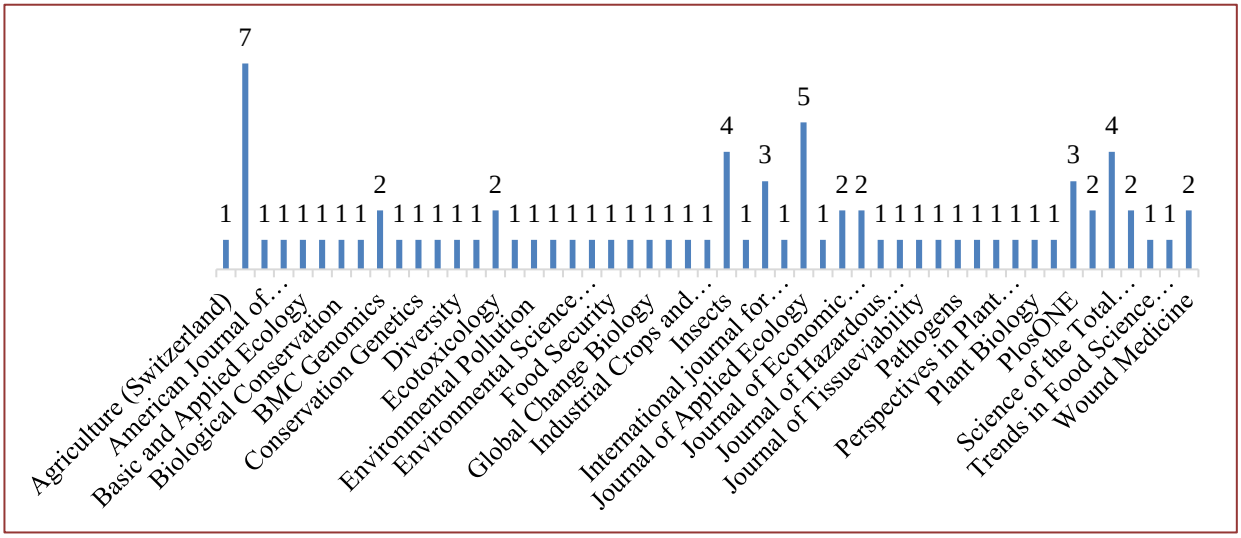
Após a aplicação dos critérios elegíveis, foram incluídos no banco de dados 78 artigos. Deste total, 32 (41%) artigos consistem em revisão sistemática, 26 (33%) meta-análises e 20 (26%) usando as duas ferramentas (Figura 1).

Figura 1. Relação dos artigos que usaram as metodologias de revisão sistemática e/ou meta-analises ou ambas.



Os 78 artigos foram publicados em 51 periódicos, com destaque para Agriculture, Ecosystems & Environment, Journal of Applied Ecology e Insects (Figura 2).

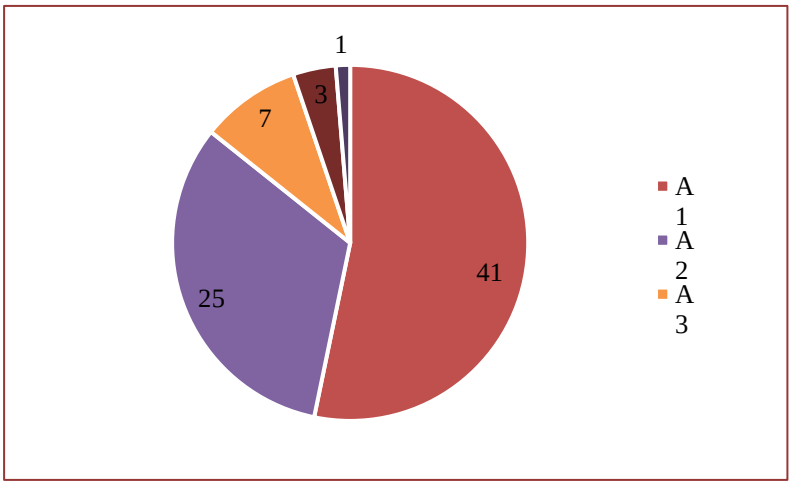
Figura 12. Periódicos onde foram publicados os artigos elegíveis.



De acordo com a estratificação da plataforma sucupira, quadriênio 2017-2020, 53% dos artigos apresentam qualis A1, 33% qualis A2, 9% com qualis A3, 4% estratificado no qualis A4. Além destes, 1% está enquadrado no qualis B2 (Figura 3). O fator de impacto desses periódicos encontrados variou de 1.3 a 15.3, sendo estes pertencentes aos periódicos Insectes Sociaux e Trends in Food Science & Technology, respectivamente.

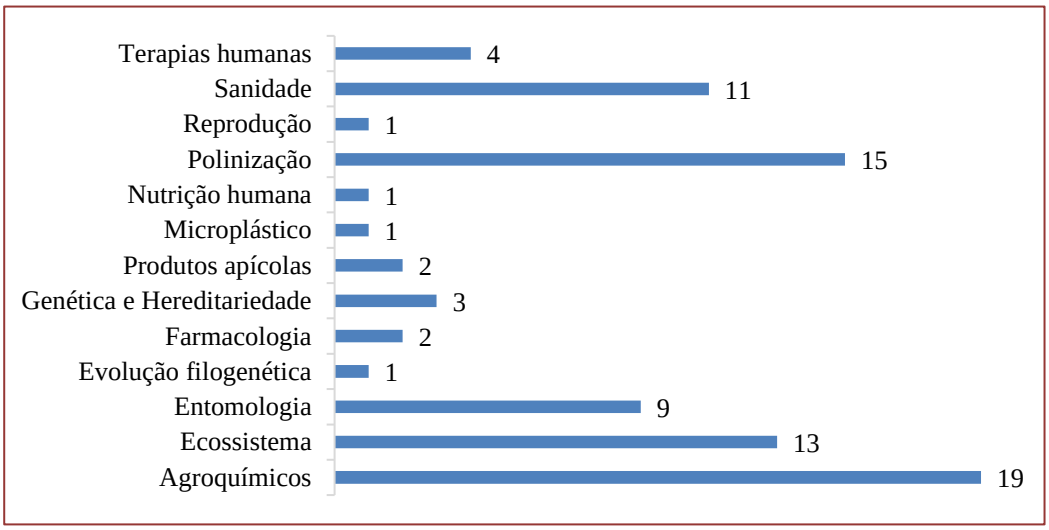
Os periódicos estratificados com qualis A1 apresentaram um fator de impacto médio de 6.8 (variando de 2.4 a 15.3), os periódicos de qualis A2 tiveram média de 3.3 (variando de 1.8 a 5.9). As estratificações A3 e A4 tiveram médias de 2.9 e 2.8 respectivamente, enquanto que o estrato B2 teve apenas um periódico com fator de impacto de 1.3. O periódico Current Research in Insect Science não está estratificado na plataforma sucupira e não teve pontuação zero no fator de impacto

Figura 13. Estratificação dos artigos de acordo com o quadriênio 2017-2020 da CAPES.



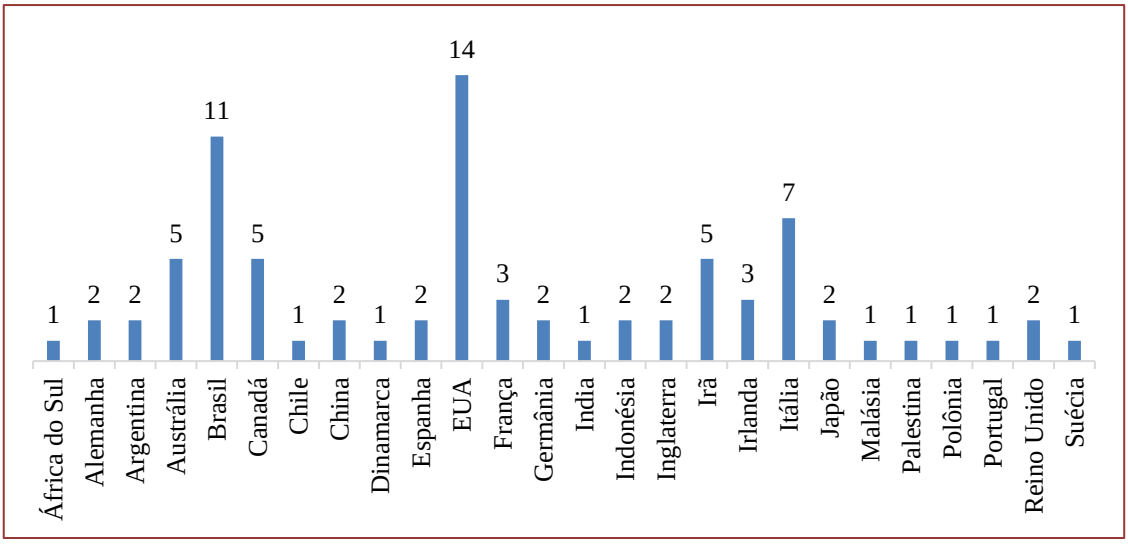
As revisões sistemáticas e meta-análises publicadas até abril de 2024 contemplaram 13 subáreas (Figura 4) que estão direta ou indiretamente ligadas à grande área abelhas *Apis mellifera*. Agroquímicos, polinização e ecossistemas foram as subáreas mais estudadas, com 23%, 18,3% e 15,8%, respectivamente, sendo responsáveis por 57,1% das pesquisas publicadas com as ferramentas empregadas.

Figura 14. Relação das subáreas relacionadas às publicações das revisões sistemáticas e meta-análises até abril de 2024.



Os autores responsáveis pela elaboração das revisões sistemáticas e/ou meta-análises estão distribuídos em 26 países (Figura 5).

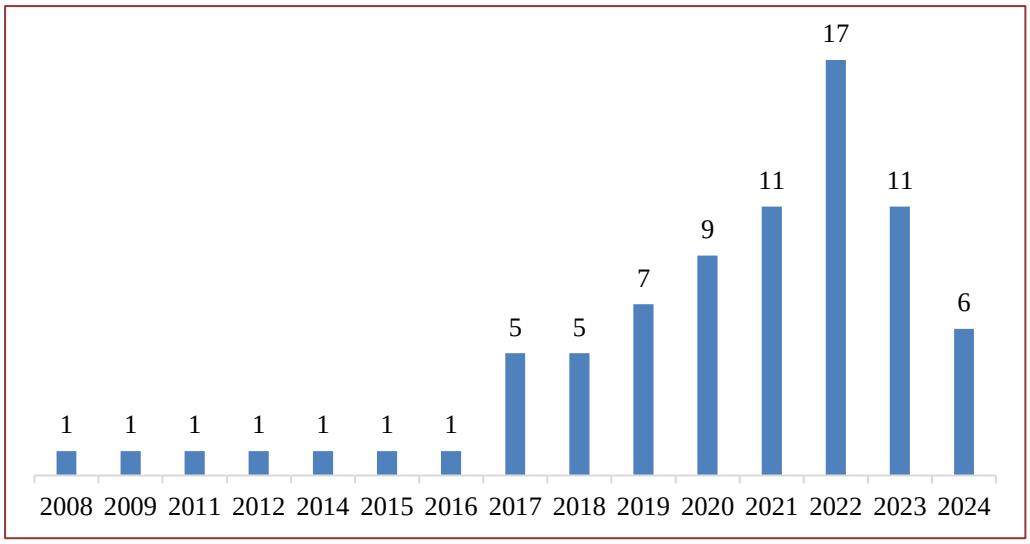
Figura 15. Relação dos países de origem dos primeiros autores.



Estados Unidos da América (EUA), Brasil e Itália foram os países com maior número de publicações, representando 14, 11 e 7 autores, respectivamente.

Apesar da pesquisa de dados nas plataformas não ter sido limitada quanto ao ano de publicação, os artigos elegíveis foram publicados entre 2008 e 2024, sendo que a maioria (61,5%) foi entre 2020 e 2023 (Figura 6).

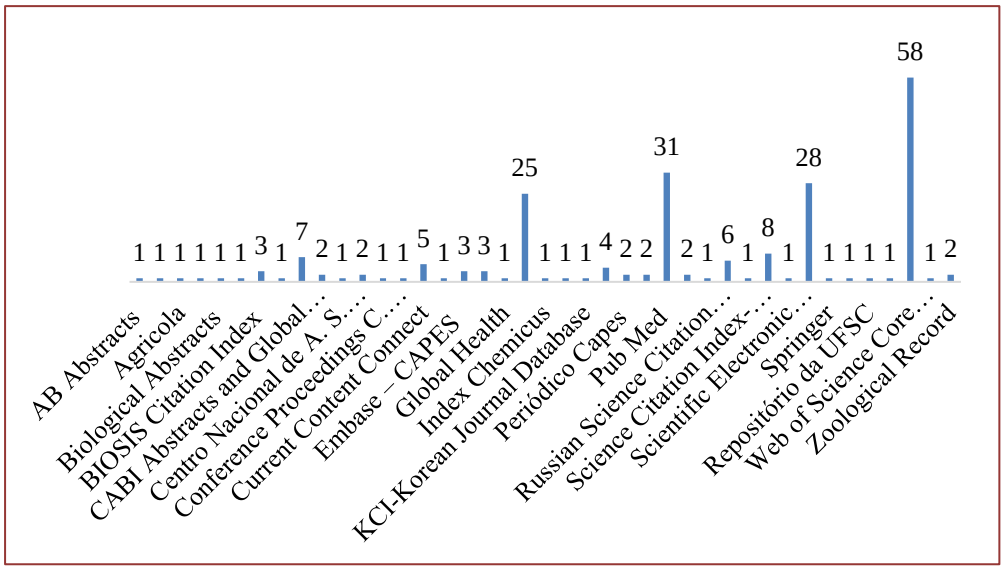
Figura 16. Período de publicação dos artigos elegíveis.



O ano de 2024 já vem apresentando dados promissores, pois até a primeira quinzena de abril foram publicadas já seis pesquisas, é esperado que neste ano sejam publicados ainda mais estudos, assim como o aumento do número de publicações no decorrer dos anos.

O número de base de dados utilizadas nas revisões sistemáticas publicadas variou de 1 a 14 bases, sendo a maioria utilizando somente uma plataforma em sua estratégia de pesquisa. As bases de dados utilizadas estão descritas na Figura 7.

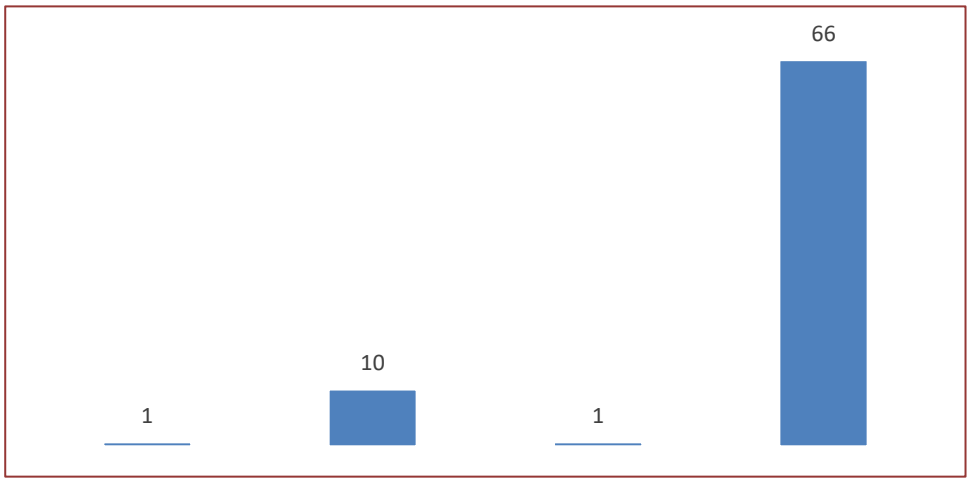
Figura 17. Relação das bases de dados usadas nas estratégias de pesquisa dos artigos elegíveis.



Foram utilizadas 42 bases de dados nas pesquisas, com destaque para Web of Science, Scopus, PubMed e Google Acadêmico, que apresentaram os maiores valores quanto ao número de pesquisas utilizando-as.

Quanto à descrição do número de revisores responsáveis pelas estratégias de busca e triagem dos artigos para a confecção das revisões e/ou meta-análises, apenas 12 trabalhos deixaram claro na seção metodológica esse número, ou seja, 66 artigos (84,6%) não mencionaram quantos revisores foram responsáveis pelas pesquisas, enquanto que os demais trabalhos mencionaram um, dois ou três revisores (Figura 8).

Figura 18. Relação da quantidade de revisores responsáveis pelas pesquisas metodológicas dos artigos elegíveis.



Nesta pesquisa, foi observado que apenas 29 dos 78 artigos encontrados utilizaram a recomendação PRISMA em sua metodologia.

A questão de pesquisa é uma ferramenta utilizada principalmente para formular questões de pesquisa e orientar a busca por evidências, havendo várias siglas/acrônimos utilizáveis. Os resultados encontrados mostram que somente duas pesquisas utilizaram a questão PECO, três utilizaram a questão PICO e um utilizou apenas PO, onde P é a população, I é a intervenção, E é o contexto, C é o fator comparação e O é o resultado da pesquisa.

De acordo com as informações coletadas, 41 estudos não especificaram se houve restrição de idioma na estratégia de busca e 17 não restringiram qualquer idioma. Ainda, 18 trabalhos apresentaram restrição de busca somente com o idioma inglês e apenas um artigo restringiu aos idiomas inglês e italiano.

Por fim, quanto a visibilidade do artigo, vimos que, até 17 de abril de 2024, Winfree et al. (2009) teve em seu trabalho publicado um total de 1243 citações. enquanto que Zapata-Hernández et al. (2024) e Swanson et al. (2024) ainda não foram citados, provavelmente por ser um trabalho recente.

4. DISCUSSÃO

Esse estudo da arte foi pensado para compreender como está a aplicação da revisão sistemática e/ou meta-análises em estudos com *Apis mellifera* em todas as subáreas do conhecimento com essa subespécie. Apesar do uso dessas ferramentas ser relativamente novo nas ciências agrárias, vimos que com abelhas elas têm sido bastante usadas, principalmente a partir do ano de 2017 e seu volume máximo de publicações entre 2020 e 2023, provavelmente influenciado pela pandemia de Covid 19.

Foram encontrados 78 artigos publicados abrangendo várias diretrizes, com destaque para linhas de pesquisas que estudaram o efeito de agroquímicos nos insetos polinizadores ou nos ecossistemas, entretanto, tem subáreas que ainda não teve esse tipo de abordagem, como por exemplo, fatores que podem interferir na produção de mel, efeitos da hibridização entre subespécies, uso de morfometria geométrica para classificação fenotípica, entre outras.

É importante destacar que o uso de meta-análises tem sido expressivo nas pesquisas com abelhas, considerando que 58,9% dos artigos usaram essa abordagem, seja independente ou com revisão com revisão sistemática. Isso nos leva a refletir que os artigos de pesquisas com abelhas têm sido estruturados com os metadados necessários para execução de uma meta-análise.

A publicação dos artigos de revisões sistemáticas e meta-análises foram feitas em sua maioria (86%) em periódicos de alto fator de impacto e estratificados em qualis A1 ou A2 e todos os artigos indexados nas bases de dados usadas para essa pesquisa, foram publicados no idioma inglês. Estados Unidos e Brasil estão com a maior representatividade nas publicações e apesar de ambos os países terem maior volume de publicações entre 2020 e 2023, os EUA teve início em 2008, enquanto que o Brasil teve sua primeira publicação em 2017.

Foi observado que a maioria dos pesquisadores usaram apenas uma base de dados (24 artigos) na estratégia de busca dos artigos na formação do banco de dados. De acordo com as diretrizes de elaboração de revisões sistemáticas e meta-análises, quanto maior o

número de bases de dados usadas na formação do banco de dados menor a chance de viés na seleção dos artigos primários. Porém, 32% dos autores utilizaram apenas uma base de dados. É importante destacar que 70,8% destes artigos de revisões sistemáticas e/ou meta-analises usaram a plataforma Web of Science para a busca dos artigos primários.

A Web of Science foi a plataforma mais empregada nas buscas de artigos primários nos 78 trabalhos elegíveis, ou seja, pode ser considerada como referência para formação de bancos de dados para confecção de revisões sistemáticas e/ou meta-analises. Scopus, PubMed também foram bastante usadas pelos autores desses trabalhos. Apesar do google Scholar não ser considerada uma base de dados confiável, esta foi usada em alguns trabalhos como forma de ter acesso ao texto completo dos artigos.

A plataforma Science Direct teve uma participação pequena (6 vezes) quando comparada ao Google Scholar, entretanto, na pesquisa de dados do presente trabalho ela teve uma maior amplitude de busca (66,8%), enquanto que a Web of Science foi 15,5% dos trabalhos encontrados.

5. PERSPECTIVAS

São vastas as linhas de pesquisas que podem ser exploradas por estas ferramentas de pesquisa, principalmente no atual cenário climático mundial e seus efeitos na sanidade, na produção de alimentos de origem apícola, reprodução, desenvolvimento de fitoterápicos, no controle termorregulatório das abelhas e muito mais.

Dentro da linha de pesquisa sanidade, as revisões sistemáticas e/ou meta-análises não contemplaram pesquisas com comportamento higiênico, varroatose ou nosemose. A relação entre essas variáveis precisa ser explorada pois influencia diretamente na imunidade social das abelhas.

Outra demanda ainda não explorada por essas ferramentas é a relação entre hibridização e seus efeitos no comportamento enxameatório, reprodutivo, termorregulatório e produtivo das abelhas *Apis mellifera*. Essas demandas fazem parte da dissertação e da tese dos autores e serão exploradas no decorrer do curso.

6. CONCLUSÃO

O uso da revisão sistemática e/ou meta-análise com *Apis mellifera* tem sido bastante explorada, num contexto geral, porém ainda não contemplou todas as subáreas. Foi observado que esses estudos foram mais representativos nos Estados Unidos e no Brasil.

A publicação de revisões sistemáticas e/ou meta-análises na área de estudo pode ser considerada de grande relevância para a comunidade científica, considerando o fator de impacto e a estratificação qualitativa dos periódicos. Agroquímicos, polinização e ecossistemas são as subáreas mais exploradas até o momento por essas ferramentas, principalmente a partir do ano de 2020.

Por fim, algumas diretrizes comumente empregadas em artigos de revisão sistemática com ou sem meta-análise na área da medicina humana não foram fortemente usadas na área aqui estudada e aparentemente não prejudicou a qualidade do material.

REFERÊNCIAS

[1] ADAMS, H. A.; SOUTHEY, B. R.; ROBINSON, G. E.; RODRIGUEZ-ZAS, S. L. Meta-analysis of genome-wide expression patterns associated with behavioral maturation in honey bees. **BMC genomics**, 9, 1-15, 2008.

[2] ADENUBI, O. T.; AHMED, A. S.; FASINA, F. O.; MCGAW, L. J.; ELOFF, J. N.; NAIDOO, V. Pesticidal plants as a possible alternative to synthetic acaricides in tick control: A systematic review and meta-analysis. **Industrial Crops and Products**, 123, 779-806, 2018.

[3] ARACHCHIGE, E. C. S.; EVANS, L. J.; CAMPBELL, J. W.; DELAPLANE, K. S.; RICE, E. S.; CUTTING, B. T.; RADER, R. A global assessment of the species composition and effectiveness of watermelon pollinators and the management strategies to inform effective pollination service delivery. **Basic and Applied Ecology**, 66, 50-62, 2023.

[4] ARENA, M.; SGOLASTRA, F. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. **Ecotoxicology**, 324-334, 23(3), 2014.

[5] BACKX, A.; GUZMÁN-NOVOA, E.; THOMPSON, G. Factors affecting ovary activation in honey bee workers: A meta-analysis. **Insects Sociaux**, (2012), 381-388, 59(3), 2012.

[6] BADENES-PÉREZ, F. R. Benefits of insect pollination in Brassicaceae: A meta-analysis of self-compatible and self-Incompatible crop species. **Agriculture**, 12(4), 446, 2022.

[7] BAHARI, H.; TAHERI, S.; RASHIDMAYVAN, M.; HEZAVEH, Z. S.; MOUSAVI, S. E.; MALEKAHMADI, M. The effects of Royal Jelly consumption on lipid profile: A GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis. **PharmaNutrition**, 100351, 2023.

[8] BATTISTI, L.; POTRICH, M.; SAMPAIO, A. R.; DE CASTILHOS GHISI, N.; COSTA-MAIA, F. M.; ABATI, R.; SOFIA, S. H. Is glyphosate toxic to bees? A meta-analytical review. **Science of the Total Environment**, 767, 145397, 2021.

[9] BENUSZAK, J.; LAURENT, M.; CHAUZAT, M. P. The exposure of honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae) to pesticides: Room for improvement in research. **Science of The Total Environment**, 587, 423-438, 2017.

[10] BERNARDES, R. C.; BOTINA, L. L.; ARAUJO, R. D. S.; GUEDES, R. N. C.; MARTINS, G. F.; LIMA, M. A. P. Artificial intelligence-aided meta-analysis of toxicological assessment of agrochemicals in bees. **Frontiers in Ecology and Evolution**, 10, 845608, 2022.

[11] BIRD, G.; WILSON, A. E.; WILLIAMS, G. R.; HARDY, N. B. Parasites and pesticides act antagonistically on honey bee health. **Journal of Applied Ecology**, 58(5), 997-1005, 2021.

[12] BRAGANÇA CASTAGNINO, G. L.; MEANA, A.; CUTULI DE SIMÓN, M. T.; BATISTA PINTO, L. F. Propolis and its effects on bee diseases and pests: a systematic review. **Journal of Apicultural Research**, 62(1), 171-184, 2023.

[13] BRAUN, J.; LORTIE, C. J. Finding the bees knees: a conceptual framework and systematic review of the mechanisms of pollinator-mediated facilitation. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, 36, 33-40, 2019.

[14] CARNESECCHI, E.; SVENDSEN, C.; LASAGNI, S.; GRECH, A.; QUIGNOT, N.; AMZAL, B.; DORNE, J. L. C. M. Investigating combined toxicity of binary mixtures in bees: Meta-analysis of laboratory tests, modelling, mechanistic basis and implications for risk assessment. **Environment International**, 133, 105256, 2019.

[15] CARR, S. M. Multiple mitogenomes indicate Things Fall Apart with Out of Africa or Asia hypotheses for the phylogeographic evolution of Honey Bees (*Apis mellifera*). **Scientific Reports**, 13(1), 9386, 2023.

[16] CHMIEL, J. A.; PITEK, A. P.; BURTON, J. P.; THOMPSON, G. J.; REID, G. Meta-analysis on the effect of bacterial interventions on honey bee productivity and the treatment of infection. **Apidologie**, 52(5), 960-972, 2021.

[17] CRESSWELL, J. A meta-analysis of experiments testing the effects of a neonicotinoid insecticide (imidacloprid) on honey bees. **Ecotoxicology**, 149-157, 20(1), 2011.

[18] CULLEN, M. G.; THOMPSON, L. J.; CAROLAN, J. C.; STOUT, J. C.; STANLEY, D. A. Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of existing research and methods. **PloS one**, 14(12), e0225743,

2019.

[19] DEBNAM, S.; SAEZ, A.; AIZEN, M. A.; CALLAWAY, R. M. Exotic insect pollinators and native pollination systems. **Plant Ecology**, 222(9), 1075-1088, 2021.

[20] DIRILGEN, T.; HERBERTSSON, L.; O'REILLY, A. D.; MAHON, N.; STANLEY, D. A. Moving past neonicotinoids and honeybees: A systematic review of existing research on other insecticides and bees. **Environmental Research**, 235, 116612, 2023.

[21] DOUBLET, V.; POESCHL, Y.; GOGOL-DORING, A.; ALAUX, C.; ANNOSCIA, D.; AURORI, C.; BARRIBEAU, S.; BEDOYA-REINA, O.; BROUW, M.; BULL, J.; PAXTON, R.; GROZINGER, C. Unity in defence: Honeybee workers exhibit conserved molecular responses to diverse pathogens. **BMC Genomics**, 18(1), 2017.

[22] DUAN, JJ.; MARVIER, M.; HUESING, J.; DIIVELY, G.; HUANG, ZY. A meta-analysis of effects of Bt crops on honey bees (Hymenoptera: Apidae). **PlosONE**, 2008.

[23] DYMOND, K.; CELIS-DIEZ, J. L.; POTTS, S. G.; HOWLETT, B. G.; WILLCOX, B. K.; GARRATT, M. P. The role of insect pollinators in avocado production: A global review. **Journal of Applied Entomology**, 145(5), 369-383

[24] EERAERTS, M.; DEVETTER, L. W.; BATÁRY, P.; TERNEST, J. J.; MALLINGER, R.; ARRINGTON, M.; ISAACS, R. Synthesis of highbush blueberry pollination research reveals region-specific differences in the contributions of honeybees and wild bees. **Journal of Applied Ecology**, 60(12), 2528-2539, 2023.

[25] EL-NAHHAL, Y. Pesticide residues in honey and their potential reproductive toxicity. **Science of the Total Environment**, 741, 139953, 2020.

[26] FAKHRI, Y., ABTAHI, M., ATAMALEKI, A., RAOOFI, A., ATABATI, H., ASADI, A., ... & KHANEGHAH, A. M. The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in honey: A global systematic review and meta-analysis and risk assessment. **Trends in food science & technology**, 91, 498-506, 2019.

[27] FÖLDESI, R.; HOWLETT, B. G.; GRASS, I.; BATÁRY, P. Larger pollinators deposit more pollen on stigmas across multiple plant species—a meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, 58(4), 699-707, 2021.

[28] FREITAS, B. M.; NUNES-SILVA, P. Polinização Agrícola e sua importância no Brasil. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; CANHOS, D.A. L.; ALVES, D. A.; SARAIVA, A. M. **Polinizadores do Brasil – Contribuição e Perspectivas para a Biodiversidade, Uso sustentável, Conservação e Serviços Ambientais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

[29] GUDOWSKA, A.; CWAJNA, A.; MARJAŃSKA, E.; MOROŃ, D. Pollinators enhance the production of a superior strawberry–A global review and meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 362, 108815, 2024.

[30] HADI, A.; NAJAFGHOLIZADEH, A.; AYDENLU, E. S.; SHAFIEI, Z.; PIRIVAND, F.; GOLPOUR, S.; POURMASOUMI, M. Royal jelly is an effective and relatively safe alternative approach to blood lipid modulation: A meta-analysis. **Journal of Functional Foods**, 41, 202-209, 2018.

[31] HAVARD, T.; LAURENT, M.; CHAUZAT, M. P. Impact of stressors on honey bees (*Apis mellifera*; Hymenoptera: Apidae): Some guidance for research emerge from a meta-analysis. **Diversity**, 12(1), 7, 2019.

[32] HOLMAN, L. Queen pheromones and reproductive division of labor: A meta-analysis. **Behavioral Ecology**, (2018), 1199-1209, 29(6), 2018.

[33] HUNG, K.; KINGSTON, J.; ALBRECHT, M.; HOLWAY, D. The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, (2018), 285(1870), 2018.

[34] HÜNICKEN, P. L.; MORALES, C. L.; DE VILLALOBOS, A. E.; GARIBALDI, L. A. Evaluation of interactions between honeybees and alternative managed pollinators: A meta-analysis of their effect on crop productivity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 340, 108156, 2022.

[35] IWASAKI, J. M.; HOGENDOORN, K. Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: an updated review. **Current research in insect science**, 2, 100043, 2022.

[36] IWASAKI, J. M.; HOGENDOORN, K. Non-insecticide pesticide impacts on bees: A review of methods

and reported outcomes. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 314, 107423, 2021.

[37] KENDALL, L. K.; EVANS, L. J.; GEE, M.; SMITH, T. J.; GAGIC, V.; LOBATON, J. D.; RADER, R. The effect of protective covers on pollinator health and pollination service delivery. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 319, 107556, 2021.

[38] KOFFLER, S.; KLEINERT, A.M.P.; JAFFÉ, R. Quantitative conservation genetics of wild and managed bees. **Conservation Genetics**, 689-700, 18(3), 2017.

[39] KRISHNAKUMAR, G. S.; MAHENDIRAN, B.; GOPALAKRISHNAN, S., MUTHUSAMY, S., & ELANGOVAN, S. M. (2020). Honey based treatment strategies for infected wounds and burns: A systematic review of recent pre-clinical research. **Wound Medicine**, 30, 100188.

[40] LI, J. Y.; YU, Y.; CRAIG, N. J.; HE, W.; SU, L. Interactions between microplastics and insects in terrestrial ecosystems – A systematic review and meta-analysis. **Journal of Hazardous Materials**, 132783, 2023.

[41] LI, K.; TSCHARNTKE, T.; SAINTES, B.; BUCHORI, D.; GRASS, I. Critical factors limiting pollination success in oil palm: a systematic review. **Agriculture, ecosystems & environment**, 280, 152-160, 2019.

[42] LIU, F.; XU, X.; ZHANG, Y.; ZHAO, H.; HUANG, Z. Y. A Meta-Analysis shows that screen bottom boards can significantly reduce Varroa destructor population. **Insects**, 11(9), 624, 2020.

[43] LUNDIN, O.; RUNDLÖF, M.; SMITH, H. G.; FRIES, I.; BOMMARCO, R. Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: a systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. **PLoS one**, 10(8), e0136928, 2015.

[44] MARTÍNEZ-LÓPEZ, V.; RUIZ, C.; DE LA RÚA, P. Migratory beekeeping and its influence on the prevalence and dispersal of pathogens to managed and wild bees. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, 18, 184-193, 2022.

[45] MONDET, F.; BEAUREPAIRE, A.; MCAFEE, A.; LOCKE, B.; ALAUX, C.; BLANCHARD, S.; LE CONTE, Y. Honey bee survival mechanisms against the parasite Varroa destructor: a systematic review of phenotypic and genomic research efforts. **International journal for parasitology**, 50(6-7), 433-447, 2020.

[46] MOREAUX, C.; MEIRELES, D. A.; SONNE, J.; BADANO, E. I.; CLASSEN, A.; GONZÁLEZ-CHAVES, A.; DALSGAARD, B. The value of biotic pollination and dense forest for fruit set of Arabica coffee: A global assessment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 323, 107680, 2022.

[47] NANETTI, A.; BORTOLOTTI, L.; CILIA, G. Pathogens spillover from honey bees to other arthropods. **Pathogens**, 10(8), 1044, 2021.

[48] NEKOEI, S.; REZVAN, M.; KHAMESIPOUR, F.; MAYACK, C.; MOLENTO, M. B.; REVAINERA, P. D. A systematic review of honey bee (*Apis mellifera*, Linnaeus, 1758) infections and available treatment options. **Veterinary Medicine and Science**, 9(4), 1848-1860, 2023.

[49] NORDIN, A.; SAINIK, N. Q. A. V.; ZULFARINA, M. S.; NAINA-MOHAMED, I.; SAIM, A.; IDRUS, R. B. H. Honey and epithelial to mesenchymal transition in wound healing: An evidence-based review. **Wound medicine**, 18, 8-20, 2017.

[50] ORYAN, A.; ALEMZADEH, E.; MOSHIRI, A. Biological properties and therapeutic activities of honey in wound healing: A narrative review and meta-analysis. **Journal of tissue viability**, 25(2), 98-118, 2016.

[51] PAGE, M. L.; NICHOLSON, C. C.; BRENNAN, R. M.; BRITZMAN, A. T.; GREER, J., HEMBERGER, J.; WILLIAMS, N. M. A meta-analysis of single visit pollination effectiveness comparing honeybees and other floral visitors. **American Journal of Botany**, 108(11), 2196-2207, 2021.

[52] PARDO, A.; BORGES, P. A. Worldwide importance of insect pollination in apple orchards: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 293, 106839, 2020.

[53] PAXTON, R. J.; SCHÄFER, M. O.; NAZZI, F.; ZANNI, V.; ANNOSCIA, D.; MARRONI, F.; SHAFIEY, H. Epidemiology of a major honey bee pathogen, deformed wing virus: potential worldwide replacement of genotype A by genotype B**. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, 18, 157-171, 2022.

[54] PEIRSON, M.; PERNAL, S. F. A Systematic Review of Fumagillin Field Trials for the Treatment of Nosema Disease in Honeybee Colonies. **Insects**, 15(1), 29, 2024.

[55] PHILLIPS, B. B.; WALLACE, C.; ROBERTS, B. R.; WHITEHOUSE, A. T.; GASTON, K. J.; BULLOCK, J. M.;

OSBORNE, J. L. Enhancing road verges to aid pollinator conservation: A review. **Biological Conservation**, 250, 108687, 2020.

[56] PUGESEK, G.; THUMA, J. A.; CRONE, E. E. First field-based estimates of bumblebee diapause survival rates showcase high survivorship in the wild. **Journal of Insect Conservation**, 27(4), 547-556, 2023.

[57] RESCI, I.; CILIA, G. The use of honey bee (*Apis mellifera* L.) as biological monitors for pathogenic bacteria and antimicrobial resistance: A systematic review. **Environmental Pollution**, 122120, 2023.

[58] ROLLIN, O.; GARIBALDI, L. Impacts of honeybee density on crop yield: A meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, (2019), 1152-1163, 56(5), 2019.

[59] RUAS, R. B.; COSTA, L. M. S.; BERED, F. Urbanization driving changes in plant species and communities–A global view. **Global Ecology and Conservation**, 38, e02243, 2022.

[60] SABELLA, G.; MULÈ, R.; ROBBA, L.; AGRÒ, A.; MANACHINI, B. Could Europe apply a suitable control method for the small hive beetle (Coleoptera: Nitidulidae)?. **Journal of Economic Entomology**, 115(2), 401-411, 2022.

[61] SALES, V. R.; AZEVEDO, P.; ZUCCHI, M. I.; NOCELLI, R. C. F. A systematic review of research conducted by pioneer groups in ecotoxicological studies with bees in Brazil: advances and perspectives. **Environmental Science and Pollution Research**, 29(42), 62711-62732, 2022.

[62] SANTANA, J. E. G.; COUTINHO, H. D. M.; DA COSTA, J. G. M.; MENEZES, J. M. C.; TEIXEIRA, R. N. P. Fluorescent characteristics of bee honey constituents: A brief review. **Food Chemistry**, 362, 130174, 2021.

[63] SINGH, A.; LEPPANEN, C. Known target and nontarget effects of the novel neonicotinoid cycloxaprid to arthropods: a systematic review. **Integrated Environmental Assessment and Management**, 16(6), 831-840, 2020.

[64] SOUZA, G. T.; TORQUATO, I. H. S.; CASTRO, C. C. Understanding the relations between Solanaceae crops and their pollinators: a global meta-network. **Plant Biology**, 26(2), 157-165, 2024.

[65] SOUZA-SILVA, T. G.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, G. G.; GIUSTI, F. C. V.; NOVAES, R. D.; ALMEIDA PAULA, H. A. Impact of microplastics on the intestinal microbiota: a systematic review of preclinical evidence. **Life sciences**, 294, 120366, 2022.

[66] STRAW, E. A.; THOMPSON, L. J.; LEADBEATER, E.; BROWN, M. J. 'Inert'ingredients are understudied, potentially dangerous to bees and deserve more research attention. **Proceedings of the Royal Society B**, 289(1970), 20212353, 2022.

[67] STRAW, E.A.; STANLEY, D.A. Weak evidence base for bee protective pesticide mitigation measures. **Journal of Economic Entomology**, 116(5), 2023, 1604–1612, 2023.

[68] SWANSON, L.; MELATHOPOULOS, A.; BUCY, M. Systematic review of residual toxicity studies of pesticides to bees and veracity of guidance on pesticide labels. **PeerJ**, 12, e16672, 2024.

[69] TONIETTO, R. K.; LARKIN, D. J. Habitat restoration benefits wild bees: A meta-analysis. **Journal of Applied Ecology**, 55(2), 582-590, 2018.

[70] TOSELLI, G.; SGOLASTRA, F. Seek and you shall find: An assessment of the influence of the analytical methodologies on pesticide occurrences in honey bee-collected pollen with a systematic review. **Chemosphere**, 258, 127358, 2020.

[71] TOSI, S.; SFEIR, C.; CARNESECCHI, E.; CHAUZAT, M. P. Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A meta-analysis and new risk assessment tools. **Science of the Total Environment**, 844, 156857, 2022.

[72] TRANIELLO, I. M.; BUKHARI, S. A.; KEVILL, J.; AHMED, A. C.; HAMILTON, A. R.; NAEGER, N. L.; ROBINSON, G. E. Meta-analysis of honey bee neurogenomic response links Deformed wing virus type A to precocious behavioral maturation. **Scientific reports**, 10(1), 3101, 2020.

[73] WINFREE, R.; AGUILAR, R.; VAZQUEZ, D.; LEBUHN, G.; AIZEN, M. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. **Ecology**, 90 (8), 2068-2076, 2009.

[74] YANG, Y.; WU, Y.; LONG, H.; MA, X.; SHARIATI, K.; WEBB, J.; CHEN, J. Global honeybee health decline factors and potential conservation techniques. Food Security, 15(4), 855-875, 2023.

[75] YOKOI, K.; KIMURA, K.; BONO, H. Revealing Landscapes of Transposable Elements in Apis Species by Meta-Analysis. **Insects**, 13(8), 698, 2022.

[76] YOKOI, K.; WAKAMIYA, T.; BONO, H. Meta-analysis of the public RNA-Seq data of the Western honeybee *Apis mellifera* to construct reference transcriptome data. **Insects**, 13(10), 931, 2022.

[77] ZAPATA-HERNÁNDEZ, G.; GAJARDO-ROJAS, M.; CALDERÓN-SEGUEL, M.; MUÑOZ, A. A.; YÁÑEZ, K. P.; REQUIER, F.; ARRIETA, H. Advances and knowledge gaps on climate change impacts on honey bees and beekeeping: A systematic review. **Global Change Biology**, 30(3), e17219, 2024.

[78] ZULHENDRI, F.; PERERA, C. O.; CHANDRASEKARAN, K.; GHOSH, A.; TANDEAN, S.; ABDULAH, R.; LESMANA, R. Propolis of stingless bees for the development of novel functional food and nutraceutical ingredients: A systematic scoping review of the experimental evidence. **Journal of Functional Foods**, 88, 104902, 2022.

[79] ZULHENDRI, F.; PERERA, C. O.; TANDEAN, S.; ABDULAH, R.; HERMAN, H.; CHRISTOPER, A.; LESMANA, R. The potential use of propolis as a primary or an adjunctive therapy in respiratory tract-related diseases and disorders: A systematic scoping review. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, 146, 112595, 2022.

Capítulo 10

Produção de pólen apícola e comportamento higiênico em colônias de abelhas africanizadas (Apis mellifera)

Edgar Rodrigues de Araujo Neto
Lucas da Silva Morais
Leandro Alves da Silva
Nailton Oliveira de Sousa Chagas
Camila dos Santos Rezende
Jonatan Mikhail Del Solar Velarde
Tasyely Daylhany Freire de Lima
Kátia Peres Gramacho

Resumo: O município de Brejo Grande é o segundo maior produtor de pólen no Nordeste. A produção de pólen apícola é considerada uma das atividades mais lucrativas na apicultura, com potencial para uma rentabilidade maior do que mel. Fatores tecnológicos, climáticos e biológicos (manejo, doenças, baixa qualidade genética das rainhas) podem influenciar negativamente a produção de pólen, sendo necessário compreender os fatores que afetam a produção na região. O objetivo desta pesquisa foi verificar a produtividade de pólen apícola em colônias de abelha africanizadas com base em seu comportamento higiênico e fatores climáticos em uma região intertropical com clima úmido e estações chuvosas e secas alternadas no município de Brejo Grande, Sergipe, Brasil. O pólen apícola obtido de coletores externos foi pesado durante cinco dias, de 32 colônias, nos períodos de maio a julho de 2014 e de janeiro a maio de 2015. O comportamento higiênico das colônias foi estudado usando o método de perfuração da cria. O comportamento higiênico e variáveis climáticas como temperatura, umidade, velocidade do vento e precipitação foram utilizados como efeitos fixos na produção de pólen de cada colônia. Colônias higiênicas mostraram uma produção de pólen significativamente maior ($p = 0,0035$) em comparação com as colônias não higiênicas. Apenas a precipitação influenciou significativamente a produção de pólen.

1. INTRODUÇÃO

A produção de pólen apícola tem aumentado gradualmente no Brasil; a Bahia ocupa a primeira posição nacional, com produtividade variando de 2 a 4 kg/mês/colônia, caracterizada pela variação da floração da cajazeira (*Spondias lutea* L.) e camaçari (*Caraipa densifolia* Mart.) ao longo do ano. São Paulo é o segundo estado com maior produção do Brasil, com uma média de 2 a 3,5 kg/mês/colônia, seguido por Santa Catarina e Sergipe, ambos com uma média de 1,2 kg por colônia [1]. No entanto, Sergipe se destaca pela produção de pólen de abelha, concentrada no município de Brejo Grande, que possui um dos menores índices de Desenvolvimento Humano, onde a produção de pólen é uma atividade agrícola amplamente explorada [2]. Atualmente, o município é o segundo maior produtor de pólen do Nordeste, com capacidade para processar até 500 kg de pólen de abelha por mês.

Como uma modalidade recente na cadeia apícola brasileira, a produção de pólen de abelha necessita de adaptações das técnicas adequadas à realidade da apicultura com abelhas africanizadas em clima tropical. Portanto, a seleção do melhor equipamento, manejo, conhecimento da flora polinizadora, entendimento do comportamento de coleta de pólen na flora brasileira, processamento e armazenamento, sazonalidade [3,4,5], e a aplicação de esforços de melhoramento genético são estratégias fundamentais para aumentar a produção, além da adoção de técnicas adequadas para um manejo eficiente das colônias.

Implementando práticas de manejo adequado, substituição de rainhas e melhoramento genético das colônias, é possível aumentar a produção de mel em 50% ou mais [6]. Da mesma forma, Kerr [7] relata que tal aumento pode chegar a 20% na produtividade de pólen das colônias apenas substituindo 25% das rainhas de menor desempenho. Esse aumento resultante do melhoramento traz um crescimento considerável na renda do apicultor, uma vez que não houve gastado com materiais apícolas. Atualmente, ao discutir o melhoramento genético em *Apis mellifera*, recomenda-se aplicar métodos de seleção que utilizem comportamento higiênico e resistência a doenças como principais critérios de seleção, devido à capacidade das abelhas higiênicas de detectar, retirar a tampa e remover a cria morta ou doente de suas células, geralmente antes que a doença comece sua fase infecciosa [8,9].

Estudo de monitoramento de colônias de abelhas africanizadas de linhagens higiênicas e não higiênicas observou que as colônias higiênicas armazenavam uma quantidade maior de pólen do que aquelas de linhagens não higiênicas [10]. Com esses resultados, sugere-se que apicultores interessados na produção de pólen selecionem colônias com alto comportamento higiênico (CH≥80%), pois elas não só proporcionam colônias mais saudáveis e resistentes a doenças e pragas, mas também mostram maior atividade de forrageamento para coleta de pólen [11,12].

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo verificar a produtividade das colônias de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*) para produção de pólen com base no comportamento higiênico sob a influência de fatores climáticos em um apiário comercial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um apiário comercial de pólen de abelha localizado no município de Brejo Grande, no assentamento Brejão dos Negros, na região da planície costeira no extremo nordeste de Sergipe. A região possui vegetação característica de floresta estacional semidecídua e está situada no bioma da Mata Atlântica, com uma

temperatura média anual de 25°C e uma precipitação média anual de 1.200 mm. O clima é megatérmico seco e semi-úmido [13,14].

O pólen bruto de abelha, retirado diretamente dos coletores no próprio apiário, foi coletado e pesado utilizando uma balança digital. Este procedimento foi realizado mensalmente e durante cinco dias consecutivos em dois períodos: o primeiro de maio a julho de 2014 e o segundo de janeiro a maio de 2015. De agosto a dezembro de 2014, não foram realizadas pesagens devido ao período fora de safra, quando os coletores de pólen não são utilizados.

Quanto ao comportamento higiênico (CH), as colônias foram estudadas de acordo com o método de perfuração de cria de Gonçalves e Gramacho [15], que modificaram a metodologia descrita por Newton e Ostasiewski [16]. Os dados obtidos foram analisados utilizando as fórmulas de Gramacho e Gonçalves [17], onde colônias que removeram 80% ou mais da cria morta são consideradas higiênicas. Para registrar e monitorar o comportamento higiênico (CH), foi utilizado um organograma simplificado (Tabela 1).

Tabela 1. Tabela de campo para análise do comportamento higiênico.

	Controle		Tratamento	
	0h	24h	0h	24h
Células operculadas	A		D	
Células vazias	B	C	E	F

Onde:

A = Células operculadas no controle às 0 horas;

B = Células vazias no controle às 0 horas;

C = Células vazias no controle às 24 horas;

D = Células operculadas no tratamento às 0 horas;

E = Células vazias no tratamento às 0 horas;

F = Células vazias no tratamento às 24 horas.

Para os dados do comportamento higiênico, foram aplicadas as seguintes fórmulas:

$$Co = \frac{C - B}{A} X100 \quad Tr = \frac{F - E}{D} X100 \quad CH = Tr - Co$$

Onde:

Co = Dados de controle

Tr = Dados de tratamento

CH = Comportamento higiênico

Durante o período de pesagem do pólen, foi realizado o monitoramento diário dos dados climáticos com base nas informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para as análises estatísticas, foi utilizado o software R [18]. Em relação ao Comportamento Higiênico (CH), a produtividade de pólen foi estudada utilizando ANOVA com um modelo misto, onde as covariáveis climáticas como temperatura, umidade, velocidade do vento e precipitação, foram consideradas como efeitos fixos, juntamente com as variáveis de

genótipo higiênico (H) ou não higiênico (NH), mês e ano de produção. Um efeito aleatório foi aplicado a cada colônia em estudo. Se as variáveis apresentassem significância estatística, o teste de comparação de médias múltiplas de Tukey foi aplicado. No caso das covariáveis, se mostrassem significância estatística, foi realizada uma regressão linear simples. Todas as análises foram conduzidas com um nível de significância estatística de 5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os meses com a maior produção de pólen no apiário do estudo estão listados na Tabela 2.

Tabela 2. Produtividade mensal decrescente de pólen de abelha.

Meses	Produção de pólen (g)
May/2015	13.785
April/2015	9.430
March/2015	9.380
February/2015	8.590
May/2014	7.300
June/2014	6.456
July/2014	6.400
January/2015	5.300

As cinco colônias mais produtivas (C) foram: C13 (6.680g), C41 (5.610g), C17 (3.890g), C6 (3.850g) e C1 (3.680g). Os números das 32 colônias foram atribuídos aleatoriamente pelo apicultor. Com base nesses dados, é possível avaliar as colônias para seleção e melhoramento genético, selecionando as melhores colônias para eventualmente produzir a geração F1 com a substituição das piores rainhas não higiênicas por rainhas higiênicas.

Observou-se uma diminuição na produção nos meses de maio, junho, julho, e uma queda maior em janeiro de 2015. Esse valor baixo em janeiro pode estar relacionado ao retorno do período fora de safra, conforme indicado pelo apicultor, devido às colônias ainda estarem retornando ao sistema produtivo. Considerando que não se tratou de um fator ambiental, uma vez que a maior parte da floração do apiário vem da palmeira de coco (*Cocos nucifera* L.), que possui um ciclo perene e, portanto, produz pólen durante todo o ano, essa diminuição na produção é provavelmente devido ao desgaste das rainhas e ao manejo inadequado. Questões como a não substituição de rainhas velhas, alimentação inadequada e captura de enxames naturais com rainhas velhas e improdutivas são fatores contribuintes prováveis [19,20].

Os resultados da ANOVA e do Teste de Tukey ($P < 0,05$) demonstram uma diferença significativa na produção de pólen entre os anos de 2014 e 2015, onde 2015 apresentou maior produção (em média). Essa diferença na produção pode ser atribuída ao menor número de pesagens em 2014 (3 meses), totalizando 20.150g, em comparação com 2015 (5 meses), que totalizou 46.485g.

Das 32 colônias presentes no apiário, apenas 11 foram adequadas para o teste de comportamento higiênico, enquanto as outras 21 colônias não eram adequadas devido à falta de cria, baixa população ou mesmo a morte da colônia. As avaliações foram realizadas nos meses de junho, outubro, janeiro, março e abril (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação do Comportamento Higiênico em Percentagem (%) para as Coletas de 2014 e 2015.

Colônia	Média ± Desvio Padrão (%)
C1	85.55 ± 5.56
C2	75.22 ± 10.83
C6	83.35 ± 0.80
C8	89.84 ± 9.02
C12	94.09 ± 2.88
C14	92.64 ± 6.84
C15	70.26 ± 9.79
C16	84.75 ± 7.98
C18	83.78 ± 10.63
C85	79.82 ± 4.89
C110	70.02 ± 27.39

As colônias do grupo higiênico, C14 e C16, mostraram o melhor desempenho na remoção de cria, corroborando com Spivak e Downey [21], onde colônias com índices de comportamento higiênico mais elevados exibem taxas de remoção de cria mais consistentes. A resposta da colônia ao comportamento higiênico pode ser influenciada pelo número de abelhas geneticamente especializadas para realizar o comportamento de limpeza, uma vez que a composição genotípica pode afetar a execução desse comportamento [22,23].

Os resultados da análise de ANOVA e do teste de Tukey entre a produção de pólen das colônias higiênicas (H) e não-higiênicas (NH) mostram uma diferença estatisticamente significativa ($P < 0,05$). Os dados brutos para produzir os dois grupos (H e NH) mostram uma diferença significativa na produção total de pólen. As colônias higiênicas produziram 18.406g de pólen de abelha (*in natura*), enquanto as colônias não-higiênicas produziram 4.869g, com as colônias higiênicas (n=8) produzindo individualmente 2.300g e as colônias não-higiênicas (n=3) produzindo 1.600g.

Os resultados demonstram que as colônias higiênicas foram superiores na produção de pólen de abelha em comparação com as não-higiênicas, mostrando que colônias higiênicas são mais aptas à produção de pólen, devido à presença de áreas de cria mais abertas, estimulando a coleta de pólen devido aos feromônios da cria, reforçando que o feromônio larval ou o contato com áreas de cria e armazenagem de pólen nas colmeias, indica as necessidades nutricionais da colônia, induzindo assim a coleta de pólen e néctar pelos forrageiros. Observou-se que em colônias higiênicas havia mais quadros com pólen armazenado (pão de abelha) [24,25,26].

Diversos autores recomendam a aplicação do comportamento higiênico para seleção e melhoramento genético visando resistência a doenças e resistência ao ácaro ectoparasitário *Varroa destructor* [27,28,29], em relação a cria giz [30] e a cria pútrida americana [15]. Com a superioridade produtiva comprovada das colônias higiênicas em comparação com as não-higiênicas, e além de manter as colônias mais saudáveis, o CH é considerado um dos melhores mecanismos para controle de doenças das abelhas [15], tornando o teste uma ferramenta importante para a seleção de colônias produtoras de pólen pelo próprio apicultor, que deve substituir as rainhas não-higiênicas por higiênicas. O apicultor pode alcançar um ganho de produtividade de pelo menos 20% [31,32]. Além disso, em colônias com abelhas higiênicas, o pólen coletado nas gavetas sai mais limpo, pois as abelhas limpam não apenas a cria morta, mas também restos de abelhas, ácaros,

sujeira etc., levando a uma economia de tempo no processo de limpeza pós-colheita do pólen [33].

A seleção para comportamento higiênico tem a vantagem de eliminar focos de doenças sem o uso de antibióticos ou outros medicamentos ou produtos químicos, tornando os produtos de suas colônias (mel, cera, geleia real) livres de resíduos químicos e, portanto, de maior valor no mercado nacional e internacional [10]. Durante todas as visitas ao apiário neste estudo e em outros na região, o monitoramento de doenças e pragas foi realizado, confirmando a presença do ácaro *Varroa destructor* [34] com uma taxa média de infestação de 3% por colônia [35].

Na região de Brejo Grande, a atividade com pólen de abelha gera emprego e renda para pelo menos 20 famílias de apicultores. A apicultura na região é uma atividade de extrema relevância, pois o município de Brejo Grande, em Sergipe, tem 28% de sua população em extrema pobreza, ganhando menos de 70 reais por mês por membro da família [36]. Portanto, doenças e pragas são uma ameaça significativa para a região, destacando a necessidade de trabalhos de melhoramento genético para reduzir e prevenir doenças e pragas das abelhas no município e no estado.

Quanto às variáveis de produção e climáticas, temperatura, umidade, vento e chuva são fatores que afetam a atividade de forrageamento das abelhas [37]. Neste estudo, foram realizadas uma correlação de Pearson com uma distribuição normal dos resíduos e um teste de covariância (ANCOVA) entre temperatura, umidade, vento e chuva e produção de pólen. Somente a chuva foi relacionada à produção de pólen.

Nos dados abaixo, foi encontrada uma correlação significativa (p = 0,0173), mas não determinante, entre a produção de pólen e a chuva, devido à ausência de períodos longos e constantes de chuva durante o experimento. A coleta de pólen é feita diariamente pelos apicultores, e períodos longos de chuva podem dificultar a produção, pois as abelhas saem menos frequentemente da colmeia para coletar e dificultam o acesso dos apicultores aos seus apiários.

Esse fato também corrobora os estudos de Toledo e Mouro [38] e Drumond [39], onde a chuva é um fator desfavorável para a produção de pólen devido à redução na atividade de forrageamento das abelhas operárias. No entanto, é importante destacar a diferença entre as regiões, pois as regiões cobertas nos estudos citados (Minas Gerais, Bahia, Rondônia e Paraná) têm regimes de chuva distintos dos deste estudo, que experimentou poucas chuvas e em alguns meses nenhuma, potencialmente influenciando a produção de flores, como em janeiro, quando não houve chuvas e a produção de pólen foi a mais baixa.

4. CONCLUSÃO

Em conclusão, nas condições avaliadas, o comportamento higiênico mostrou-se altamente correlacionado com a produção de pólen de abelha, onde colônias mais higiênicas são mais produtivas. A chuva foi o único fator climático relacionado à produção de pólen, apresentando uma relação significativamente positiva, mas não determinante na produção de pólen de abelha na região. Há uma alta variabilidade genética nas colônias para a produção de pólen e comportamento higiênico, tornando viável a implementação de programas de melhoramento genético e seleção.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos sinceros agradecimentos ao apicultor Magno por ter generosamente permitido o acesso ao seu apiário para nossa pesquisa. Seu apoio foi fundamental para viabilizar nossos estudos e contribuir para a compreensão da produção de pólen de abelha e do comportamento higiênico nas colônias de abelhas. Agradecemos sinceramente sua cooperação e o papel vital que desempenhou no sucesso de nossa pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] Freitas A., et al. "The botanical profiles of dried bee pollen loads collected by *Apis mellifera* (Linnaeus) in Brazil." Sociobiology 60.1 (2013): 56-64.

[2] Alves RF and Santos FAR. "Plant sources for bee pollen load production in Sergipe, northeast Brazil." *Palynology* 38.1 (2014): 90-100.

[3] Khalifa SAM., et al. "Overview of bee pollination and its economic value for crop production." *Insects* 12.8 (2021): 688.

[4] Campos MG., et al. "Standard methods for pollen research." Journal of Apicultural Research 60.4 (2021): 1-109.

[5] Straumite E., et al. "Physical and microbiological characteristics and antioxidant activity of honey bee pollen." Applied Sciences 12.6 (2022): 3039.

[6] Garcia RC., et al. "Honey and propolis production, hygiene and defense behaviors of two generations of Africanized honey bees." *Scientia Agricola* 70 (2013): 74-81.

[7] Kerr WE. "Progresso na genética de abelhas." *Anais Congresso Brasileiro de Apicultura, Pousada do Rio Quente, GO, 365p*. 1994.

[8] Spivak M and Gilliam M. "Facultative expression of hygienic behaviour of honey bees in relation to disease resistance." *Journal of Apicultural Research* 32.3-4 (1993): 147-157.

[9] Seltzer R., et al. "The payoffs and tradeoffs of hygienic behavior: a five year field study on a local population of honey bees." *Journal of Apicultural Research* 61.4 (2022): 492-501.

[10] Pérez-Sato, Juan-Antonio, et al. "Multi-level selection for hygienic behaviour in honeybees." *Heredity* 102.6 (2009): 609-615.

[11] Leclercq G., et al. "Drawbacks and benefits of hygienic behavior in honey bees (*Apis mellifera* L.): a review." Journal of Apicultural Research 56.4 (2017): 366-375.

[12] Spivak M and Danka RG. "Perspectives on hygienic behavior in *Apis mellifera* and other social insects." *Apidologie* 52.1 (2021): 1-16.

[13] Alves NMS., et al. "Dinâmica Geoambiental, Processos Morfodinâmicos e uso das Terras em Brejo Grande, Baixo São Francisco–Sergipe." Revista Brasileira de Geomorfologia 8.2 (2007).

[14] Diniz MTM., et al. "Paisagens integradas dos municípios costeiros da foz do Rio São Francisco: Brejo Grande/SE e Piaçabuçu/AL." Revista do Departamento de Geografia 37 (2019): 108-122.

[15] Gonçalves LS and Gramacho KP. "Seleção de abelhas para resistência a doenças de crias através do comportamento higiênico." *Mensagem Doce* 52 (1999): 2-7.

[16] Newton DC and Ostasiewski NJ. "A simplified bioassay for behavioral resistance to american foulbrood in honey bees (*Apis mellifera* L.)." (1986): 278-281.

[17] Gramacho KP and Gonçalves LS. "Estudo comparativo dos métodos de congelamento e perfuração de crias para avaliação do comportamento higiênico em abelhas africanizadas." *Congresso Latinoiberoamericano De Apicultura*. Vol. 4. Cordoba, Argentina: Anais, 1994.

[18] Team R. Core. "R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing." (2013).

[19] Arruda VAS., et al. "Biological properties of bee pollen of coconut collected in the region of northeast Brazil." *Magistra* 26.CBPFH (2014): 2158-2164.

[20] Alves RF and Santos FAR. "Pollen foraged by bees (*Apis mellifera* L.) on the Atlantic Forest of Bahia, Brazil." *Palynology* 43.3 (2019): 523-529.

[21] Spivak M and Downey DL. "Field assays for hygienic behavior in honey bees (Hymenoptera: Apidae)." *Journal of economic entomology* 91.1 (1998): 64-70.

[22] Maucourt S., et al. "Genetic parameters of honey bee colonies traits in a Canadian selection program." Insects 11.9 (2020): 587.

[23] Erez T., et al. "Multiple benefits of breeding honey bees for hygienic behavior." *Journal of Invertebrate Pathology* 193 (2022): 107788.

[24] Sagili RR and Pankiw T. "Effects of protein-constrained brood food on honey bee (*Apis mellifera* L.) pollen foraging and colony growth." *Behavioral Ecology and Sociobiology* 61 (2007): 1471-1478.

[25] Corby-Harris V., et al. "Honey bee (*Apis mellifera*) nurses do not consume pollens based on their nutritional quality." *PLoS one* 13.1 (2018): e0191050.

[26] Stanimirović, Z., et al. "Diet supplementation helps honey bee colonies in combat infections by enhancing their hygienic behaviour." *Acta Veterinaria* 72.2 (2022): 145-166.

[27] Spivak M and Reuter GS. "*Varroa destructor* infestation in untreated honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies selected for hygienic behavior." *Journal of Economic Entomology* 94.2 (2001): 326-331.

[28] Masaquiza, D., et al. "Hygienic behavior of *Apis mellifera* and its relationship with *Varroa destructor* infestation and honey production in the central highlands of Ecuador." *Insects* 12.11 (2021): 966.

[29] Morin, ML and Giovenazzo P. "Mite non-reproduction, recapping behavior, and hygienic behavior (freeze-kill method) linked to *Varroa destructor* infestation levels in selected *Apis mellifera* colonies." *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 35.6 (2023): 655-663.

[30] Gilliam M, TABER III S and Richardson GV. "Hygienic behavior of honey bees in relation to chalkbrood disease." *Apidologie* 14.1 (1983): 29-39.

[31] Martinez OA and Soares AEE. "Melhoramento genético na apicultura comercial para produção da própolis." *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* 13 (2012): 982-990.

[32] Nicodemo D., et al. "Honey bee lines selected for high propolis production also have superior hygienic behavior and increased honey and pollen stores." *Genetics and Molecular Research* (2013): 6931-6938.

[33] Kefuss J., et al. "Un método prático para comprobar el comportamiento higiénico." *Vida Apicola* 76 (1996): 26-29.

[34] Castilhos D., et al. "*Varroa destructor* infestation levels in Africanized honey bee colonies in Brazil from 1977 when first detected to 2020." *Apidologie* 54.1 (2023): 5.

[35] Spivak M and Reuter GS. "*Varroa destructor* infestation in untreated honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies selected for hygienic behavior." *Journal of Economic Entomology* 94.2 (2001): 326-331.

[36] Araújo SS, Netto AOA and Gomes LJ. "A Percepção ambiental, identidade e pertencimento dos moradores do povoado Cabeço, em Brejo Grande/SE, frente às inundações na Foz do Rio São Francisco." *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 36 (2016).

[37] Couto RHN and Couto LA. *Apicultura: manejo e produtos*. Funep, 2006.

[38] Toledo VAA and Mouro GF. "Produção de geleia real com abelhas africanizadas selecionadas e cárnicas híbridas." *Revista Brasileira de Zootecnia* 34 (2005): 2085-2092.

[39] DRUMOND PM. "Quanto custa para a agricultura brasileira os serviços prestados pelos polinizadores." *Mensagem Doce* 121 (2013).

Autores

AUTORES

EZEQUIEL REDIN (ORGANIZADOR)

Curso Superior de Tecnologia em Agropecuária: Sistemas de Produção (UERGS) - CREA RS 160488; Bacharelado em Administração (ULBRA); Licenciatura plena para a Educação Profissional (UFSM); Licenciatura em Filosofia (UFSM); Licenciatura em Sociologia (Unip); Pós-graduação em Gestão Pública Municipal (UFSM); Pós-graduação em Tecnologias de Informação e Comunicação aplicadas à Educação (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Sociologia no Ensino Médio (UFSM); Pós-graduação em Ensino de Filosofia no Ensino Médio (UFSM); Mestrado e Doutorado em Extensão Rural (PPGExR/UFSM); Editor da Revista Extensão Rural (UFSM). Atualmente é Professor do Departamento de Ensino do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Professor Permanente do Programa de Pós-graduação em Estudos Rurais (PPGER) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Campus Diamantina, MG. É avaliador credenciado do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (BASis) do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira - INEP/MEC.

ANA LUIZA DA SILVA MENDES

Graduanda do curso de Agronomia, IFGoiano Câmpus Urutaí

ANDRÉ SANDMANN

Possui graduação em Licenciatura em Matemática pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2003), mestrado em Modelagem Matemática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (2009) e doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2013). Atualmente é professor associado nível 2 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, conselhos, comissões e consultoria da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, professor do mestrado PPGTCA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, membro do NDE de engenharia ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, conselheiro da EDUTFPR. Pesquisador em temas correlatos a Matemática Aplicacda; atuando principalmente com produção de leite, modelo matemático, sistemas agroindustriais.

CARLOS GABRIEL XAVIER DOURADO

Estudante Curso Técnico em Agropecuária, IFGoiano Câmpus Urutaí

DEBORAH CATHARINE DE ASSIS LEITE

Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Feira de Santana (2008), mestrado em Biotecnologia Vegetal pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2012), doutorado em Ciências (Microbiologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2016). Atualmente é professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, coordenadora do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio (Mestrado), docente Permanente do Programa de Pós Graduação em Biotecnologia (Mestrado e Doutorado), docente da Especialização em Biologia Molecular.

EDGAR RODRIGUES DE ARAUJO NETO

Graduado em Ciências Biológicas (Bacharelado) Universidade Tiradentes - UNIT (2015) e Ciências Biológicas (Licenciatura) Universidade Cruzeiro do Sul (2020) , mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2019), Pós-Graduado em Administração e Gestão de Projetos Sociais - Universidade Cruzeiro do Sul (2022) e Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2023). Pesquisador membro do Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do Rio Grande do Norte CETAPIS e membro do Núcleo de Pesquisas Apícolas do Semiárido Nordestino cadastrado no CNPQ. Experiência na área de Apicultura com foco em seleção e manejo para aumento de produtividade, capacitação e profissionalização de apicultores, produção de machos/zangões tendo em vista a seleção e conservação das abelhas africanizadas. Trabalhou como Agente Local de Inovação Rural (ALI Rural)/Sebrae na região do Alto Sertão Sergipe

AUTORES

atendendo pequenos e médios produtores. Atualmente presta serviço ao Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar/SE) como técnico no programa de Assistência Técnica e Gerencial (ATeG) na cadeia de apicultura.

EDSON TRINDADE DA SILVA SÁ

Estudante Curso Técnico em Agropecuária, IFGoiano Câmpus Urutaí

EDUARDO DAVID

Possui graduação em Engenharia Agronômica pela Universidade de Taubaté (1990), Mestrado (2007) e Doutorado (2011) em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente Professor Dr. na Universidade Estadual de Maringá, Campus do Arenito. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Engenharia Agrícola, atuando nas áreas de Construções Rurais e Ambiência, Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica em Atividades e Processos Agroindustriais, Eficiência Elétrica no meio Rural e Instalações Elétricas Rurais.

FABIANA COSTA DE ARAUJO SCHUTZ

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2001), mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2004) e doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2014). Atualmente é professora do ensino superior da Universidade Tecnológica Federal do Paraná e desenvolve estudos na área de Recursos Hídricos e simulação.

FRANCISCO DE ASSIS JUNIOR

Possui curso técnico em Apicultura, pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Atualmente cursa Engenharia Agronômica na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

FRANCISCO ITALO FERREIRA FERNANDES

Graduando do curso de Agronomia, IFGoiano Câmpus Urutaí

GENECI RIBEIRO ROCHA

Doutoranda Centro Interdisciplinar de Estudos e Pesquisas em Agronegócio – CEPAN da Universidade Feral do Rio Grande do Sul-UFRGS e Professora na Escola de Negócios e Tecnologia da Atitus Educação.

GUILHERME MOSENA DE SOUZA

Estudante Curso Técnico em Agropecuária, IFGoiano Câmpus Urutaí

HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS

Zootecnista formada na pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (julho/2009), Mestre em Ciência Animal (Maio/2012) pela mesma universidade, com período sanduíche na Universidade Estadual Paulista (UNESP/SP). Doutora em Ciência Animal pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pós-Doutorado com projeto Rotas da Integração Nacional do Ministério de Desenvolvimento Regional em parceria com a UFERSA. Atualmente é professora Adjunta I na Universidade Vale do Acaraú (UVA). Atua principalmente em estudos que envolvem o efeito do ambiente sobre os animais: Bioclimatologia Animal, Biofísica Ambiental, Comportamento e Bem-Estar Animal.

AUTORES

HERMENEGILDO ALMEIDA CHINGAMBA

Possui graduação em Administração pela Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica (2016 - 2019). Pós-graduando em transformação digital e inovação pela BBI of Chicago. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade federal do Rio Grande do Sul. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Administração; Empreendedor; Mentor; Facilitador, Pesquisador. Atuando principalmente nos seguintes temas: Empreendedorismo, inovação, Economia Circular, Processo Empreendedor Inovador, Ubuntu.

IZABELA REGINA COSTA ARAUJO

Pesquisadora adjunta Universidade Tecnologica Federal do Paraná

JULIANO TRIACCA

Mestrando em Tecnologias computacionais para o agronegócio pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Especialização em Redes de Computadores pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2018). Possui graduação em Redes de Computadores pela Faculdade Sul Brasil (2015). Atualmente é professor da Faculdade de Ensino Superior de Toledo - UNIPAR é especialista na Indústria Farmacêutica - PRATI-DONADUZZI. Possui certificações MICROSOFT, CISCO e FORTIGATE. Com grande experiência em infraestrutura tecnológica, tendo ênfase em security network.

KÁTIA PERES GRAMACHO

Bacharel em Ciências Biológicas (1990), Mestrado em Ciências, com ênfase em Entomologia (1995), Doutorado Sanduíche em Ciências (1999), em colaboração entre a FFCLRP-USP e a Universität Hohenheim-Stuttgart, na Alemanha; Pós-Doutorado na University of Minnesota, nos EUA, com foco em neuroetologia do comportamento de abelhas (2000). Atualmente, é professora na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), dedicando-se ao ensino e pesquisa na área de apicultura. Coordena o Núcleo de Estudos Científicos e Tecnológicos em Abelhas do Semiárido (NECTAS) e o Núcleo de Capacitação Tecnológica em Apicultura-UFERSA, bem como o Setor de Apicultura da instituição. Além disso, é membro permanente do programa de Pós-Graduação em Produção Animal e colabora com o Programa de pós-graduação em Ciência Animal da UFERSA. Participa ativamente do comitê directivo e é membro da La Sociedad Latinoamericana de Investigación en Abejas (SOLATINA). Desempenha o papel de diretora científica e membro da ONG Bee or Not to Be.

LEANDRO ALVES DA SIVA

Zootecnista (2019); Mestre em Produção Animal- subárea: apicultura. Doutorado em andamento - subárea: conservação e produção animal com foco em abelhas *Apis mellifera*.

LEIDY XIMENA FIGUEROA COSSIO

Mestrando em Proteção de Plantas, IFGoiano Câmpus Urutaí

LEONARDO BARRIVIERA FURUYA

Graduando em zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

LUANY EMANUELLA ARAUJO MARCIANO

Doutoranda em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

AUTORES

LUCAS DA SILVA MORAIS

Biólogo com bacharelado, licenciatura, mestrado em Produção Animal e doutorado em Ciência Animal, além de pós-graduação em Gestão Empresarial. Especialista em apicultura, com foco na seleção, manejo e conservação de abelhas africanizadas, capacitação de apicultores e aumento de produtividade. Membro do NECTAS, já atuou como Consultor em Apicultura pelo Sebrae Sergipe atualmente é técnico no programa de Assistência Técnica e Gerencial em apicultura pelo SENAR/SE.

LUCIANA VERAS DE AQUINO FIGUEIRÔA

Possui graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2008), Especialização Latu Senso em Clínica Médica de Pequenos Animais pela Equalis (2013) e Mestrado em Pós Graduação em Produção Animal pela Universidade Federal Rural do Semi - Árido (2013). Atualmente é doutoranda em patologia e sanidade animal pelo Programa de Pós Graduação em Ciência Animal pela Universidade Federal Rural do Semi - Árido (2023). Atua na medicina veterinária, com ênfase nas áreas de clínica médica de pequenos animais, sanidade de organismos aquáticos e manejo reprodutivo e histopatológico de abelhas Africanizadas. Atividades profissionais relacionadas a área de inspeção de produtos de origem animal, responsabilidade técnica com foco na qualidade, prevenção de riscos e segurança alimentar.

MARCIEL JOSÉ PEIXOTO

Mestrando em Fitotecnia, Universidade Federal de Goiás

MARCOS ADRIANO PEREIRA BARBOSA

Doutorando em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

MARIA JÚLIA BETIOLO TROLEIS

Doutora em Agronomia UNESP, Campus de Ilha Solteira

MELINA KORRES RAIMUNDI

Professora Proteção de Plantas, IFGoiano Câmpus Urutai

MILTON LUIZ DA PAZ LIMA

Professor Proteção de Plantas, IFGoiano Câmpus Urutaí

NAILTON OLIVEIRA DE SOUSA CHAGAS

Eng. Agrônomo com bacharelado, mestrado em Produção Animal. Especialista em apicultura, com foco na seleção, manejo e multiplicação de abelhas africanizadas, apicultura industrial e aumento de produtividade. Membro do NECTAS, já atuou como Consultor em diversas empresas agrícolas que necessitam dos serviços de polinização. Atualmente é apicultor e consultor em produção de rainhas e multiplicação de enxames.

NILTON EUGÉNIO MÁRIO

Doutorando UNESP, Campus de Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Departamento de Ciência do Solo

PAOLLA CARDOSO BORGES FRAZÃO

Graduanda do curso de Agronomia, IFGoiano Câmpus Urutaí.

AUTORES

PAULINO TAVEIRA DE SOUZA.

Doutor em Agronomia UNESP, Campus de Ilha Solteira.

PEDRO AFONSO DE SOUZA EZIDIO

Doutorando em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

RAFAEL MONTANARI

Professor Associado UNESP, Campus de Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Departamento de Ciência do Solo.

RAYNER SVERSUT BARBIERI

Professor da FAZU

RODRIGO JOSÉ DE VARGAS

Pesquisador egresso da Universidade Tecnologica Federal do Paraná

SIMARA MARCIA MARCATO

Professora Associada de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

TASYELY DAYLHANY FREIRE DE LIMA

Técnica em Zootecnia, Zootecnista com bacharelado, mestranda em Ciência Animal em Produção Animal. Especialista em apicultura, com foco na seleção, manejo e conservação de abelhas africanizadas, capacitação de apicultores e aumento de produtividade. Membro do grupo de estudos NECTAS.

UILQUER SILVA DOS SANTOS

Mestrando em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá

VITOR PRAMPERO

Possui graduação em engenharia agrícola pela Universidade Estadual de Maringá (2017). Atualmente trabalha no desenvolvimento de software para motores diesel visando soluções de problemas crônicos em máquinas agrícolas. Tem experiência no remapeamento em motores diesel de máquinas agrícolas, objetivando melhoria de eficiência energética e disponibilidade de torque.

www.poisson.com.br
contato@poisson.com.br

@editorapoisson

https://www.facebook.com/editorapoisson